

**Einfluss verschiedener Lebensstilfaktoren auf die Knochenmasse
von Kindern und Jugendlichen:
Möglichkeiten der Gesundheitsförderung im Setting Schule**

Von der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd
zur Erlangung des Grades einer

Doktorin der Philosophie (Dr. phil.)

angenommene Dissertation von

Antje Schweter (M. Sc.)

aus

Berlin

2014

Erstgutachterin: Frau Prof. Dr. Petra Lührmann

Zweitgutachter: Herr Prof. Dr. med. Manfred James Müller

Fach: Gesundheitsförderung (Schwerpunkt Ernährung)

Abgabetermin der Dissertation: 07.11.2014

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Formelverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	IX

Inhaltsverzeichnis

Abstract	1
1 Einleitung.....	3
2 Theoretischer Hintergrund	6
2.1 Knochenmasse	6
2.1.1 Osteoporose	6
2.1.2 Struktur und Zusammensetzung des Knochengewebes	8
2.1.3 Entwicklung/Aufbau der Knochenmasse.....	11
2.1.4 Regulation des Knochenstoffwechsels.....	13
2.1.5 Verlauf der Knochenmasse	14
2.1.6 Bestimmung der Knochenmasse	14
2.2 Einfluss des Lebensstils auf die Knochenmasse	20
2.2.1 Ernährung	20
2.2.1.1 Calcium	21
2.2.1.2 Vitamin D	25
2.2.1.3 Phosphor.....	29
2.2.1.4 Protein.....	30
2.2.2 Körperliche Aktivität	34
2.2.3 Körperzusammensetzung und Körpergewicht	40
2.3 Einfluss weiterer Faktoren auf die Knochenmasse	50
2.3.1 Pubertätsstatus.....	50
2.3.2 Soziodemographische Merkmale	53
2.3.2.1 Bildung	53
2.3.2.2 Migrationshintergrund	56
2.4 Fragestellung	57
3 Methodik und Untersuchungsmethoden	60
3.1 Studie zu Knochengesundheit und Lebensstil von Gmünder Schülern und Schülerinnen	60
3.1.1 Studiendesign	60
3.1.2 Rekrutierung	61
3.1.3 Studienablauf	62
3.2 Untersuchungsmethoden	63
3.2.1 Quantitative Ultraschallsonometrie zur Bestimmung der Knochenmasse	63
3.2.1.1 Prinzip der Quantitativen Ultraschallsonometrie zur Bestimmung der Knochenmasse	63
3.2.1.2 Messparameter der quantitativen Ultraschallsonometrie	64
3.2.1.3 Durchführung der QUS	67
3.2.1.4 Präzision der QUS	68
3.2.2 Bioelektrische Impedanzanalyse zur Bestimmung der Körperzusammensetzung.....	70
3.2.2.1 Prinzip der Bioelektrischen Impedanzanalyse	70
3.2.2.2 Durchführung der BIA	74
3.2.2.3 Präzision der BIA	75
3.2.3 Anthropometrie	75
3.2.4 Ernährung	76
3.2.4.1 Lebensmittelverzehr	76
3.2.4.2 Index für eine knochengesunde Ernährung	79
3.2.5 Körperlicher Aktivitätslevel	83

3.2.6	Pubertätsstatus.....	85
3.2.7	Soziodemographie.....	86
3.2.7.1	Bildungsniveau	87
3.2.7.2	Migrationshintergrund.....	88
3.2.8	Weitere Faktoren	89
3.3	Reproduzierbarkeit des Fragebogens für Schüler und Schülerinnen.....	90
3.4	Statistische Kennzahlen und Testverfahren.....	91
4	Ergebnisse	93
4.1	Beschreibung der Schülerinnen und Schüler.....	93
4.1.1	Auswahl der Schülerinnen und Schüler	93
4.1.2	Soziodemographische Merkmale der Schülerinnen und Schüler	95
4.1.3	Anthropometrische Daten und Körperzusammensetzung der Schüler und Schülerinnen.....	98
4.1.4	Ernährung der Schüler und Schülerinnen	101
4.1.5	Körperliche Aktivität der Schüler und Schülerinnen.....	105
4.1.6	Pubertätsstatus der Schüler und Schülerinnen.....	107
4.1.7	Weitere Charakteristika	108
4.2	Ergebnisse methodischer Art	111
4.2.1	Ergebnisse zur Körperzusammensetzung in Abhängigkeit der ausgewählten Formeln	111
4.2.2	Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit des Fragebogens.....	115
4.2.2.1	Teilnehmer und Teilnehmerinnen.....	115
4.2.2.2	Lebensmittelverzehr	116
4.2.2.3	Körperliche Aktivität.....	117
4.3	Knochenmasse	119
4.3.1	Knochenmasse in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht	119
4.3.2	Knochenmasse in Abhängigkeit vom Lebensstil.....	122
4.3.2.1	Knochenmasse und Körpergewicht.....	122
4.3.2.2	Knochenmasse und Body Mass Index.....	122
4.3.2.3	Knochenmasse und fettfreie Masse	123
4.3.2.4	Knochenmasse und Fettmasse.....	125
4.3.2.5	Knochenmasse und Ernährung.....	127
4.3.2.6	Knochenmasse und körperliche Aktivität	128
4.3.3	Knochenmasse in Abhängigkeit weiterer Einflussfaktoren	130
4.3.3.1	Knochenmasse und Pubertätsstatus.....	130
4.3.3.2	Knochenmasse und soziodemographische Merkmale	132
4.3.3.3	Knochenmasse und Aufenthaltsdauer im Freien	133
4.3.3.4	Knochenmasse und Rauchen	133
4.3.3.5	Knochenmasse und Kontrazeptiva.....	134
4.3.3.6	Knochenmasse und Vitamin D im ersten Lebensjahr	134
4.3.4	Zusammenfassende Betrachtung von Alter, Körperzusammensetzung und verschiedenen Lebensstilfaktoren auf den Steifigkeitsindex	135
4.3.5	Identifikation und Beschreibung von Schülern und Schülerinnen mit einem Risiko für eine niedrige Knochenmasse	136
5	Diskussion.....	143
5.1	Schüler und Schülerinnen	143
5.2	Methodendiskussion	153
5.2.1	Begründung der Auswahl einer geeigneten Formel zur Berechnung der Körperzusammensetzung.....	153
5.2.2	Reproduzierbarkeit des Fragebogens	158
5.2.2.1	Lebensmittelverzehr	158
5.2.2.2	Körperliche Aktivität.....	160
5.3	Knochenmasse	162
5.3.1	Knochenmasse hinsichtlich Alter und Geschlecht	162
5.3.2	Knochenmasse und Lebensstilfaktoren	170
5.3.2.1	Knochenmasse und Körpergewicht sowie Körperzusammensetzung.....	170
5.3.2.2	Knochenmasse und Ernährung.....	180

5.3.2.3	Knochenmasse und körperliche Aktivität	184
5.3.3	Knochenmasse und weitere Einflussfaktoren	188
5.3.3.1	Knochenmasse und Pubertätsstatus.....	188
5.3.3.2	Knochenmasse und soziodemographische Merkmale	191
5.3.3.3	Knochenmasse und Aufenthaltsdauer im Freien	192
5.3.3.4	Knochenmasse und Rauchen	192
5.3.3.5	Einnahme von Kontrazeptiva.....	193
5.3.3.6	Vitamin D im ersten Lebensjahr	193
5.3.4	Zusammenfassende Betrachtung Knochenmasse und Einflussfaktoren	194
5.3.5	Risiko für eine verminderte Knochenmasse.....	197
6	Schlussbetrachtung	201
7	Zusammenfassung	208
8	Literatur	212
Anhang	250
A 3-1	Histogramm des Index für eine knochengesunde Ernährung (BHEI).....	250
A 3-2	Zuordnung der sonstigen Aktivitäten zu bereits vorhandenen Kategorien	251
A 3-3	Überprüfung der Normalverteilung der Daten	252
A 4-1	Anzahl Schüler und Schülerinnen nach Klassenstufen	253
A 4-2	Altersklassen der Schüler und Schülerinnen	253
A 4-3	Migrationshintergrund nach Bildungsstand	253
A 4-4	Körpergewicht der Schüler und Schülerinnen nach Altersklasse	254
A 4-5	Körpergröße der Schüler und Schülerinnen nach Alter	254
A 4-6	Fettfreie Masse der Schüler und Schülerinnen nach Alter.....	254
A 4-7	Fettmasse der Schüler und Schülerinnen nach Alter.....	255
A 4-8	Prozentualer Anteil der fettfreien Masse am Körpergewicht nach Alter	255
A 4-9	Lebensmittelverzehr der Schüler und Schülerinnen	256
A 4-10	Verzehrhäufigkeiten der verschiedenen Lebensmittelgruppen der Schüler und Schülerinnen nach Geschlecht.....	257
A 4-11	Mittleres Alter für den Pubertätsstatus, Menarche und Mutation der Schüler und Schülerinnen.....	257
A 4-12	Aufenthaltsdauer im Freien der Schüler und Schülerinnen nach Bildungshintergrund	258
A 4-13	Aufenthaltsdauer im Freien der Schüler und Schülerinnen nach Migrationshintergrund	258
A 4-14	Rauchstatus der Schüler und Schülerinnen nach Bildungshintergrund	258
A 4-15	Gesundheitszustand der Schüler und Schülerinnen	259
A 4-16	Gesundheitszustand der Schüler und Schülerinnen nach Bildungshintergrund	260
A 4-17	Gesundheitszustand der Schüler und Schülerinnen nach Migrationshintergrund....	260
A 4-18	Reproduzierbarkeit des Verzehrhäufigkeitsfragebogens nach Geschlecht.....	261
A 4-19	Reproduzierbarkeit des Verzehrhäufigkeitsfragebogens nach Altersgruppen	262
A 4-20	Reproduzierbarkeit der körperlichen Aktivität nach Geschlecht	263
A 4-21	Reproduzierbarkeit der körperlichen Aktivität nach Altersgruppen.....	264
A 4-22	Reproduzierbarkeit des Pubertätsstatus nach Geschlecht	265
A 4-23	Reproduzierbarkeit des Pubertätsstatus nach Altersgruppen	265
A 4-24	Zusammenhang zwischen BUA und Alter.....	266
A 4-25	Zusammenhang zwischen SOS und Alter	267
A 4-26	Steifigkeitsindex nach Migrationshintergrund.....	267
A 4-27	Steifigkeitsindex differenziert nach Rauchstatus.....	267
A 4-28	Alter differenziert nach Rauchstatus	268
A 4-29	Alter der Schülerinnen differenziert nach Einnahme von Kontrazeptiva	268
A 4-30	Steifigkeitsindex nach Vitamin D-Einnahme im ersten Lebensjahr.....	268
A 5-1	Auszug aus dem SchülerInnen-Fragebogen.....	270
A 5-2	Auszug aus dem Eltern-Fragebogen.....	284

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Modelle der Körperzusammensetzung	40
Abbildung 3-1: Technik der QUS am Calcaneus mittels Quertransmission.....	64
Abbildung 3-2: Lunar Achilles InSight Ultrasonometer.....	67
Abbildung 3-3: Elektrodenplatzierung bei Kindern	74
Abbildung 4-1: Schulart nach Geschlecht	94
Abbildung 4-2: Altersklassen der Schülerinnen und Schüler nach Geschlecht	95
Abbildung 4-3: Zusammenhang zwischen Steifigkeitsindex und Alter.....	121
Abbildung 4-4: Zusammenhang zwischen Steifigkeitsindex und fettfreier Masse	124
Abbildung 4-5: Zusammenhang zwischen Steifigkeitsindex und dem Anteil der fettfreien Masse am Körpergewicht.....	125
Abbildung 4-6: Zusammenhang zwischen Steifigkeitsindex und Fettmasse	126
Abbildung 4-7: Zusammenhang zwischen Steifigkeitsindex und körperlichem Aktivitätslevel ...	128
Abbildung 4-8: Zusammenhang zwischen Steifigkeitsindex und Pubertätsstatus (PDS-Skala)	131

Formelverzeichnis

Formel 3-1:	Beziehung zwischen SOS und den physikalischen Eigenschaften des Mediums	65
Formel 3-2:	Berechnung des Steifigkeitsindex (SI)	68
Formel 3-3:	Impedanz eines Leiters in Beziehung zu Länge und Querschnittsfläche	70
Formel 3-4:	Volumen eines Leiters in Beziehung zu Länge und Impedanz.....	71
Formel 3-5:	Berechnung Body Mass Index	75
Formel 3-6:	Berechnung der mittleren Tagesmenge eines Lebensmittels	79
Formel 3-7:	Bestimmung des Verhältnisses von Aufnahme zu Empfehlung	81
Formel 3-8:	Berechnung des Index für eine knochengesunde Ernährung	82
Formel 3-9:	Berechnung des Ruheenergieumsatz (REU) von Kindern und Jugendlichen.....	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Methoden der Osteodensitometrie.....	15
Tabelle 2-2:	Zusammenhang zwischen der quantitativen Ultrasonometrie am Calcaneus und DXA bei Kindern und Jugendlichen	18
Tabelle 2-3:	Empfohlene Zufuhr von Milch und Milchprodukten.....	22
Tabelle 2-4:	Zusammenhang zwischen Calcium und der Knochenmasse Kindern und Jugendlichen	24
Tabelle 2-5:	Empfohlene Zufuhr von Fisch	25
Tabelle 2-6:	Zusammenhang zwischen Vitamin D und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen	28
Tabelle 2-7:	Empfohlene Zufuhr von Brot und Getreide(flocken)	29
Tabelle 2-8:	Empfohlene Zufuhr von Fleisch und Wurst.....	31
Tabelle 2-9:	Zusammenhang zwischen Protein und Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen	33
Tabelle 2-10:	Empfehlung zur körperlichen Aktivität.....	35
Tabelle 2-11:	Zusammenhang zwischen der körperlichen Aktivität und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen.....	37
Tabelle 2-12:	Zusammenhang zwischen der fettfreien Masse, der Fettmasse, dem Körpergewicht bzw. BMI und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen	44
Tabelle 2-13:	Zusammenhang zwischen dem Pubertätsstatus und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen.....	52
Tabelle 2-14:	Zusammenhang zwischen soziodemographischen Daten und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen	55
Tabelle 3-1:	Überblick über die verwendete Methode und deren Untersuchungsparameter...	60
Tabelle 3-2:	Studienergebnisse zur Präzision des QUS-Gerätes AchillesInsight	69
Tabelle 3-3:	Gleichungen zur Berechnung der Fettmasse von Kindern und Jugendlichen anhand der bioelektrischen Impedanzanalyse.....	73
Tabelle 3-4:	Umrechnung der Verzehrhäufigkeiten	77
Tabelle 3-5:	Portionsmengen für die Berechnung der Verzehrmenen	77
Tabelle 3-6:	Umrechnung der Portionsmenge in Verzehrmenge [g] am Beispiel von Fleisch .	78
Tabelle 3-7:	Lebensmittelgruppierung.....	79
Tabelle 3-8:	Altersgemäße Lebensmittelverzehrmenen in der optimierten Mischkost.....	80
Tabelle 3-9:	Zuordnung der Punkte.....	81
Tabelle 3-10:	Multiplikatoren des Grundumsatzes für verschiedene körperliche Aktivitäten	84
Tabelle 3-11:	Berechnung der pubertal development scale (PDS)	85
Tabelle 3-12:	Pubertal status categories.....	86
Tabelle 3-13:	ISCED-Klassifikation	87
Tabelle 3-14:	Teilnehmende Schulen an der Reproduzierbarkeitsstudie des Fragebogens	90
Tabelle 4-1:	Responserate der Schülerinnen und Schüler	93
Tabelle 4-2:	Charakteristika der teilnehmenden Schulen	94
Tabelle 4-3:	Höchster Schulabschluss der Väter und Mütter	96
Tabelle 4-4:	Bildungshintergrund der Schüler und Schülerinnen	97
Tabelle 4-5:	Migrationshintergrund der Schüler und Schülerinnen.....	97
Tabelle 4-6:	Anthropometrische Daten und Körperzusammensetzung der Schüler und Schülerinnen.....	98
Tabelle 4-7:	Einteilung des BMI in Unter-, Normal- und Übergewicht der Schüler und Schülerinnen.....	99
Tabelle 4-8:	Anthropometrische Daten und Körperzusammensetzung der Schüler und Schülerinnen nach Bildungshintergrund	100
Tabelle 4-9:	Anthropometrische Daten und Körperzusammensetzung der Schüler und Schülerinnen nach Migrationshintergrund	101
Tabelle 4-10:	Lebensmittelverzehr und Index für eine knochengesunde Ernährung (BHEI) der Schüler und Schülerinnen	102
Tabelle 4-11:	Lebensmittelverzehr und Index für eine knochengesunde Ernährung (BHEI) der Schüler und Schülerinnen nach Bildungshintergrund.....	103

Tabelle 4-12:	Lebensmittelverzehr und Index für eine knochengesunde Ernährung (BHEI) der Schüler und Schülerinnen nach Migrationshintergrund	104
Tabelle 4-13:	Dauer der verschiedenen körperlichen (In-)Aktivitäten der Schüler und Schülerinnen.....	105
Tabelle 4-14:	Körperliche Aktivität der Schüler und Schülerinnen nach Bildungshintergrund .	106
Tabelle 4-15:	Körperliche Aktivität der Schüler und Schülerinnen nach Migrationshintergrund	107
Tabelle 4-16:	Pubertätsstatus der Schüler und Schülerinnen.....	108
Tabelle 4-17:	Rauchstatus der Schüler und Schülerinnen.....	109
Tabelle 4-18:	Rauchstatus nach Migrationshintergrund	109
Tabelle 4-19:	Resistenz und Reaktanz der Schüler und Schülerinnen, bei denen die FFM aus den Messergebnissen der BIA berechnet werden	111
Tabelle 4-20:	Absolute fettfreie Masse sowie der prozentuale Anteil der fettfreien Masse am Körpergewicht der Schüler, ermittelt mittels BIA und berechnet anhand verschiedener Formeln.....	112
Tabelle 4-21:	Absolute fettfreie Masse sowie der prozentuale Anteil der fettfreien Masse am Körpergewicht der Schülerinnen, ermittelt mittels BIA und berechnet anhand verschiedener Formeln.....	113
Tabelle 4-22:	Zusammenhang zwischen den mit der BIA ermittelten, anhand verschiedener Formeln berechneten Werte zur FFM [kg] bei Schülern.....	114
Tabelle 4-23:	Zusammenhang zwischen den mit der BIA ermittelten, anhand verschiedener Formeln berechneten Werte zur FFM [kg] bei Schülerinnen	114
Tabelle 4-24:	Beschreibung der Jungen und Mädchen der Reproduzierbarkeitsstudie.....	115
Tabelle 4-25:	Mittlere Verzehrsmengen sowie Korrelationskoeffizienten nach Spearman des Verzehrhäufigkeitsfragebogens während der 1 und 2. Befragung	116
Tabelle 4-26:	Mittlere Dauer verschiedener Aktivitäten [min/d] sowie Korrelationskoeffizienten nach Spearman des Fragebogens zur körperlichen Aktivität während der 1. und 2. Befragung	118
Tabelle 4-27:	Knochenmasseparameter der Schüler und Schülerinnen	119
Tabelle 4-28:	Breitbandultraschall-Abschwächung nach Geschlecht und Altersklasse	119
Tabelle 4-29:	Ultraschall-Geschwindigkeit nach Geschlecht und Altersklasse	120
Tabelle 4-30:	Steifigkeitsindex nach Geschlecht und Altersklasse.....	120
Tabelle 4-31:	Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses vom Alter auf den Steifigkeitsindex (SI).....	121
Tabelle 4-32:	Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses vom Körpergewicht (KG) auf den Steifigkeitsindex (SI)	122
Tabelle 4-33:	Steifigkeitsindex differenziert nach Body-Mass-Index	123
Tabelle 4-34:	Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses vom BMI auf den Steifigkeitsindex.....	123
Tabelle 4-35:	Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses von der Körperzusammensetzung auf den Steifigkeitsindex.....	126
Tabelle 4-36:	Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses einzelner Lebensmittelgruppen auf den Steifigkeitsindex	127
Tabelle 4-37:	Zusammenhang zwischen Steifigkeitsindex und körperlicher (In-)Aktivität bei den Schülern und Schülerinnen	129
Tabelle 4-38:	Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses von der körperlichen (In-)Aktivität auf den Steifigkeitsindex	130
Tabelle 4-39:	Steifigkeitsindex differenziert nach Pubertätsstatus	131
Tabelle 4-40:	Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses vom Pubertätsstatus auf den Steifigkeitsindex	132
Tabelle 4-41:	Steifigkeitsindex differenziert nach Bildungshintergrund	132
Tabelle 4-42:	Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses vom Bildungshintergrund auf den Steifigkeitsindex	133
Tabelle 4-43:	Steifigkeitsindex der Schülerinnen differenziert nach Einnahme von Kontrazeptiva	134
Tabelle 4-44:	Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses von der Einnahme von Kontrazeptiva auf den Steifigkeitsindex	134

Tabelle 4-45:	Schrittweise lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Lebensstilfaktoren auf den Steifigkeitsindex bei Schülern und Schülerinnen.....	135
Tabelle 4-46:	Schrittweise lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Lebensstilfaktoren auf den Steifigkeitsindex nach Geschlecht...	136
Tabelle 4-47:	Vergleich zwischen Schülern bzw. Schülerinnen mit niedriger, mittlerer und hoher Knochenmasse.....	138
Tabelle 4-48:	Vergleich zwischen Schülern bzw. Schülerinnen mit einem niedrigen, mittleren und hohen Steifigkeitsindex hinsichtlich des Lebensmittelverzehrs und des BHEI	141
Tabelle 4-49:	Vergleich zwischen Schülern bzw. Schülerinnen mit einem niedrigen, mittleren und hohen Steifigkeitsindex hinsichtlich der körperlichen Aktivität und der Aufenthaltsdauer im Freien	142
Tabelle 5-1:	Altersverteilung der 10- bis unter 18-jährigen Bevölkerung in Deutschland.....	144
Tabelle 5-2:	Bevölkerung nach allgemeinem Schulabschluss.....	145
Tabelle 5-3:	Anthropometrische Daten der über 10-jährigen Studienteilnehmer der KiGGS-Studie.....	149
Tabelle 5-4:	Einteilung des Body Mass Index der 11- bis 17-Jährigen der KiGGS-Studie	150
Tabelle 5-5:	Mittleres Alter in Jahren für die Stufen der Schambehaarung, die Menarche und die Mutation des KiGGS-Kollektivs	151
Tabelle 5-6:	Beschreibung der Validierungsstudien zur Bestimmung der fettfreien Masse anhand der BIA.....	155
Tabelle 5-7:	Mittleres Alter und Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer aus den Validierungskollektiven zur Bestimmung der fettfreien Masse mittels der BIA ..	157
Tabelle 5-8:	QUS-Parameter des Calcaneus bei Kindern und Jugendlichen.....	162
Tabelle 5-9:	Zusammenhänge zwischen QUS-Parametern und Alter bei Kindern und Jugendlichen	166
Tabelle 5-10:	Zusammenhang zwischen QUS-Parametern und Körpergewicht bei Kindern und Jugendlichen	171
Tabelle 5-11:	Zusammenhänge zwischen QUS-Parametern und BMI bei Kindern und Jugendlichen	175
Tabelle 5-12:	Zusammenhang zwischen QUS-Parametern und der Körperzusammensetzung bei Kindern und Jugendlichen.....	179
Tabelle 5-13:	Zusammenhang zwischen QUS-Parametern und Ernährung bei Kindern und Jugendlichen	181
Tabelle 5-14:	Zusammenhang zwischen QUS-Parametern und körperlicher Aktivität bei Kindern und Jugendlichen	185
Tabelle 5-15:	Zusammenhang zwischen QUS-Parametern und Pubertätsstatus bei Kindern und Jugendlichen	188
Tabelle 5-16:	Prädiktoren der Knochenmasse mittels QUS bei Kindern und Jugendlichen	194
Tabelle 6-1:	Kurzüberblick über die Ergebnisse der Fragestellung	205

Abkürzungsverzeichnis

aBMD	<i>areal bone mineral density</i>
ADP	<i>Air-Displacement-Plethysmography</i>
AD-SoS	<i>Amplitude-dependent speed of sound</i>
ALSPAC	<i>Avon Longitudinal Study of Parents and Children</i>
BHEI	Index für eine knochengesunde Ernährung (<i>bone healthy eating index</i>)
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
BMC	Knochenmineralgehalt (<i>bone mineral content</i>)
BMD	Knochenmineraldichte (<i>bone mineral density</i>)
BMI	Body Mass Index
BTT	<i>Bone transmission time</i>
BUA	Breitbandultraschall-Abschwächung (<i>broadband ultrasound attenuation</i>)
Ca	Calcium
CV	Variationskoeffizient
DONALD	<i>DOrtmund Nutritional and Anthropometric Longitudinally Designed study</i>
DXA	Doppelröntgen-Absorptiometrie (<i>dual-X -ray-absorptiometry</i>)
EsKiMo	Ernährungsstudie als KiGGS-Modul
FFM	Fettfreie Masse
FFQ	Verzehrhäufigkeitsfragebogen (<i>Food-Frequency-Questionnaire</i>)
FM	Fettmasse
FN	Oberschenkelhals (<i>femoral neck</i>)
HELENA	<i>Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence study</i>
HELENA-CSS	<i>Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence Cross-Sectional Study</i>
IGF-1	<i>Insulin-like growth-factor 1</i>
Ju	Jungen
k. A.	Keine Angabe
KiGGS	Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen (2003-2006)
LS	Lendenwirbelsäule
M	Mädchen
MET	Verhältnis zwischen Arbeits- und Ruheumsatz
MW	Mittelwert
n. s.	Nicht signifikant
PAL	Körperlicher Aktivitätslevel (<i>physical activity level</i>)
PCS	<i>Pubertal categorial scale</i>
PBM	Peak Bone Mass
PBMAS	<i>The University of Saskatchewan pediatric bone mineral accrual study</i>
PDS	<i>Pubertal development scale</i>
pQCT	Periphere quantitative Computertomographie
PTH	Parathormon
QCT	Quantitative Computertomographie
QUI	<i>Quantitative Ultrasound Index</i>
QUS	Quantitative Ultraschallsonometrie
RKI	Robert Koch-Institut
ROI	<i>Region of interest</i>
SD	Standardabweichung
SES	Sozioökonomischer Status
SE	Standardabweichung der Residuen
SI	Steifigkeitsindex
SOS	Ultraschall-Geschwindigkeit (<i>speed of sound</i>)
UBPI	<i>Ultrasound bone profile index</i>
vBMD	<i>Volumetric bone mineral density</i>
VOS	<i>Velocity of Sound</i>
WHO	Weltgesundheitsorganisation (<i>World Health Organisation</i>)

Abstract

Background

Osteoporosis and related secondary diseases are one of the biggest health problems in the Western industrialized nations. The accrual of bone mass occurs mainly in childhood and youth, until it reaches the peak bone mass of the adult skeleton at the end of the third decade of life. Peak bone mass depends not only on genetic factors but different lifestyle factors such as physical activity, nutrition and consumption of stimulants. A reduced peak bone mass is one of the key risk factors for the occurrence of osteoporosis in later life. Recent studies suggest that children and adolescents do not reach their peak bone mass due to an unfavourable lifestyle.

Methods

Against this background, 486 healthy students of Schwaebisch Gmuend were investigated in terms of bone density, body composition and their nutritional and physical activity behaviour. Bone mass (stiffness index, SI) was determined by calcaneal quantitative ultrasonometry (Achilles Insight). Body weight and body height were measured standardized. Fat-free mass and fat mass were measured by bioelectrical impedance analysis (BIA) using the formula of Plachta-Danielzik et al. (2012). As a measure of physical activity the physical activity level (PAL) was used. With the help of a food frequency questionnaire food intake was assessed and a bone healthy eating index (BHEI) was developed. Puberty, time spent outdoors, smoking habits, oral contraceptive use, and socio-demographic and socio-economic data were assessed using a standardized questionnaire.

Results

Mean stiffness index for boys (age: $13,3 \pm 1,7$ years; BMI: $19,3 \pm 3,3 \text{ kg/m}^2$) is 94 ± 19 , and for girls (age: $13,1 \pm 1,9$ years; BMI: $20,2 \pm 4,7 \text{ kg/m}^2$) 94 ± 18 . Fat-free mass and fat mass for boys are on average $41,7 \pm 10,4 \text{ kg}$ and $9,8 \pm 5,5 \text{ kg}$, and for girls $37,5 \pm 7,2$ and $13,8 \pm 8,7$, respectively. PAL is for boys and girls on average $1,53 \pm 0,15$ and $1,41 \pm 0,09$, respectively. Mean BHEI is for boys 56 ± 16 and for girls 60 ± 13 .

SI is significant positively correlated with age, body weight, BMI, absolute fat-free mass, PAL and puberty in boys and girls. In boys, SI is significant positively correlated with educational background. Significant negative correlation can be found in girls between SI and percentage of fat-free mass as well as intake of contraceptives.

SI does not correlate significantly with BHEI, food intake, migration background, time spent outside/outdoors and vitamin D-intake in the first year of life in boys and girls.

In multiple regression analysis, age, body composition, sex and physical activity proved to be significant predictors of SI:

$$SI = 2,81 + 3,14 * \text{age [yrs]} + 0,60 * \text{FFM [kg]} + 5,71 * \text{sex} + 16,07 * \text{PAL}$$

[0 =male, 1 = female] ($r^2 = 0,36$; SE = 14,81). Fat mass, time spent outdoors, BHEI, and smoking have no effect on SI.

Boys with low bone mass are often affected by underweight, girls with low bone mass drink more sodas/lemonades compared to students with high bone mass.

With regard to food intake and physical activity, the questionnaire can be considered reproducible.

Conclusion

Due to the results of the present study, activity behaviour has an essential influence on bone mass of children and adolescents taking into account body composition, gender and age.

1 Einleitung

In den westlichen Industrienationen stellen Osteoporose und die damit verbundenen Folgeerkrankungen eines der größten Gesundheitsprobleme dar. Osteoporose geht mit einer signifikanten Reduzierung der Lebensqualität, einem Verlust der Unabhängigkeit und erheblichen Kosten für das Gesundheitssystem einher (Kanis et al. 2008b). Charakterisiert ist Osteoporose durch eine geringe Knochenmasse sowie einen Verfall der Mikroarchitektur des Knochens (Consensus Development Conference 1991). Repräsentative Zahlen für die Prävalenz von Osteoporose in Deutschland, gemäß der Definition der WHO-Arbeitsgruppe, liegen derzeit nicht vor. Schätzungen zufolge beträgt die Prävalenz von Osteoporose bei über 50-jährigen Deutschen im Jahr 2003 26 %, wobei sie mit zunehmendem Alter ansteigt (Häussler et al. 2007). Aufgrund der steigenden Lebenserwartung wird die Zahl der osteoporotischen Frakturen in den nächsten Jahrzehnten weiter ansteigen (Tyndall et al. 2008).

Obwohl Osteoporose eine Erkrankung ist, die überwiegend im höheren Lebensalter in Erscheinung tritt, werden die Bedingungen für eine Erkrankung bereits im Kindes- und Jugendalter gelegt: Während der gesamten Wachstumsphase im Kindes- und Jugendalter wird Knochenmasse gebildet, bis etwa am Ende der dritten Lebensdekade die maximale Knochenmasse des ausgewachsenen Skeletts (Peak Bone Mass) erreicht ist. Danach überwiegt der Knochenabbau, und Erwachsene zehren bis zum Tod von der bis dahin aufgebauten Knochenmasse (Faulkner und Bailey 2007). Das heißt, dass die Knochenmasse einer Person im späten Erwachsenenalter zum einen von der Höhe der erreichten Peak Bone Mass im jungen Erwachsenenalter und zum anderen von der Abbaurate der Knochenmasse im weiteren Verlauf des Lebens beeinflusst wird. Somit ist die Zeit des Knochenaufbaus eine äußerst kritische und sensible Phase in der Entwicklung von Kindern und Jugendlichen (Davies et al. 2005, Khan 2001 S. 55, Theintz et al. 1992).

Die Peak Bone Mass hängt neben genetischen Faktoren, die das Skelettwachstum und die Knochenentwicklung maßgeblich beeinflussen, von zahlreichen Faktoren wie Ernährung und körperliche Aktivität, Körperzusammensetzung, Genussmittelkonsum, Hormonstatus sowie Erkrankungen und Medikamente ab (Cvijetić et al. 2003, Hirota et al. 2005, Tyndall et al. 2008).

Es gibt entscheidende Hinweise darauf, dass vor allem die zwei Lebensstilfaktoren Ernährung und Bewegung in den peripubertären Jahren für die Optimierung bzw. Minimierung der Knochenmasse eine besondere Rolle spielen (Forwood et al. 2006, Micklesfield et al. 2004, Robinson et al. 2007).

Ein unausgewogener Verzehr von Milch und Milchprodukten, Obst und Gemüse und Limonaden bzw. eine inadäquate Zufuhr von Energie, Protein, Vitamin D, Calcium und Phosphor sowie körperliche Inaktivität im Kindes- und Jugendalter scheinen das Risiko für eine osteoporotische Fraktur im Alter zu erhöhen (Libuda et al. 2008, Specker und Vukovich 2007). Neuere Studien belegen, dass Kinder und Jugendliche diesbezüglich einen zunehmend ungünstigeren Lebensstil aufweisen. Nach Daten der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen (KiGGS) des Robert Koch-Instituts (2003-2006) verzehren Kinder und Jugendliche zu wenig pflanzliche Lebensmittel wie Obst und Gemüse, Kartoffeln und Brot, zu wenig Milch und Milchprodukte und zu viel Limonaden (Mensink et al. 2007a). Kinder und Jugendliche verbringen einen zunehmend größer werdenden Anteil ihrer Freizeit zu Hause vor dem Fernseher und Computer und spielen weniger im Freien (Lampert et al. 2007b).

Bislang existieren kaum Studien, in denen die Zusammenhänge zwischen Knochenmasse, Körperzusammensetzung und verschiedenen Lebensstilfaktoren im Kindes- und Jugendalter umfassend untersucht wurden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass als klassische Methode (Goldstandard) zur Bestimmung der Knochendichte die Doppelröntgen-Absorptiometrie (DXA) eingesetzt wird, welche aufgrund der Strahlenbelastung, des Aufwands und der hohen Kosten bei Kindern und Jugendlichen wenig geeignet ist (Tyndall et al. 2008).

Seit einigen Jahren steht mit der quantitativen Ultraschallsonometrie (QUS) eine strahlenfreie, kostengünstige, schnelle und portable Methode zur Verfügung, die hinsichtlich der Bestimmung der Knochendichte mit der DXA vergleichbare Ergebnisse liefert (Barkmann und Glüer 2006, Krieg et al. 2006, Schnabel et al. 2005). QUS-Messungen am Calcaneus von Kindern erlauben somit im Vergleich zur DXA zuverlässige Aussagen zur Knochengesundheit von Kindern (Jaworski et al. 1995, Lehtonen-Veromaa et al. 2000a, Mughal et al. 1996, Sundberg et al. 1998).

Vor diesem Hintergrund werden 483 gesunde Schüler und Schülerinnen aus Schwäbisch Gmünd und Umgebung hinsichtlich der Knochenmasse, der Körperzusammensetzung sowie der Ernährungs- und Aktivitätsgewohnheiten untersucht. Die Messung der Knochenmasse erfolgt mittels quantitativer Ultraschallsonometrie am Fersenbein. Die Fettmasse und die fettfreie Masse werden mittels bioelektrischer Impedanz (BIA) ermittelt. Das Ernährungs- und Aktivitätsverhalten, soziodemographische Daten und weitere Lebensstilfaktoren werden mittels standardisierter Fragebögen erfasst.

Ziel der Arbeit ist es, anhand der erhobenen Daten Zusammenhänge zwischen der Körperzusammensetzung sowie den verschiedenen Lebensstilfaktoren und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen aufzuzeigen und mögliche Risikogruppen hinsichtlich der Knochengesundheit zu identifizieren.

Zur Bearbeitung der Fragestellung werden in Kapitel 2.1.1 (S. 6) zunächst das Krankheitsbild der Osteoporose und deren Folgen näher beschrieben, um deutlich zu machen, warum Osteoporose von pädiatrischem Interesse ist. Um zu verstehen, was eine starke Knochenmasse ist, werden anschließend der morphologische und histologische Aufbau der Knochenmasse erklärt. (Vgl. Kapitel 2.1.2 S. 8). Daran schließen sich die Entwicklung (Vgl. Kapitel 2.1.3 S. 11) und die Regulation des Knochenstoffwechsels (Vgl. Kapitel 2.1.4 S. 13) an. Bevor die verschiedenen Methoden der Osteodensitometrie (Vgl. Kapitel 2.1.6 S. 14) kurz vorgestellt werden, wird der Verlauf der Knochenmasse in Kapitel 2.1.5 (S. 14) skizziert. Als nächstes werden die wichtigsten Lebensstilfaktoren wie Ernährung, körperliche Aktivität, Körperzusammensetzung und Körpergewicht vorgestellt (Vgl. Kapitel 2.2. ab S. 20). Weitere Einflussfaktoren wie der Pubertätsstatus und die Soziodemographie werden in Kapitel 2.3 (S. 50) dargestellt. Dafür wird ein kurzer Überblick über die aktuellen Empfehlungen gegeben und anhand der Daten von der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen, durchgeführt vom RKI, die aktuelle Lage der Kinder und Jugendlichen in Deutschland beschrieben. Des Weiteren werden aktuelle Studien erläutert, die den Zusammenhang zwischen der Knochenmasse und den einzelnen Einflussfaktoren bei Kindern und Jugendlichen untersucht haben.

Im Kapitel 3 Methodik und Untersuchungsmethoden (S. 60) wird die Vorgehensweise und Durchführung der Rekrutierung, der Untersuchung, der unterschiedlichen Fragebogenteile sowie der Berechnung und Analyse vorgestellt.

Im ersten Teil des Ergebniskapitels werden die Schüler und Schülerinnen beschrieben (Vgl. Kapitel 4.1 S. 93). Es folgt die Darstellung der Ergebnisse zur Berechnung der Körperzusammensetzung mittels der verschiedenen Formeln (Vgl. Kapitel 4.2.1 S. 111) sowie der Ergebnisse der Analyse zur Reproduzierbarkeit des Fragebogens (Vgl. Kapitel 4.2.2 S. 115). Abschließend werden die Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und den verschiedenen Einflussfaktoren ausgewertet und die Ergebnisse präsentiert (Vgl. Kapitel 4.3 S. 119).

In Kapitel 5 (S. 143) werden die ermittelten Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung mit anderen Studienergebnissen verglichen und diskutiert.

Abschließend wird eine Schlussbetrachtung formuliert (Vgl. Kapitel 6 S. 201).

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Knochenmasse

2.1.1 Osteoporose

Definiert wird die Osteoporose als eine Skeletterkrankung, die durch eine niedrige Knochenmasse und einen Verfall der Mikroarchitektur des Knochengewebes charakterisiert ist, sowie mit einer erhöhten Knochenbrüchigkeit und darauf folgend mit einem erhöhten Frakturrisiko einhergeht (Consensus Development Conference 1991, Consensus Development Conference 1993, Kanis et al. 1994, Kanis und WHO Study Group 1994). Da offen bleibt, ab welchem Grad der Verminderung der Knochenmasse von Osteoporose zu sprechen ist, formulierte eine Arbeitsgruppe der Weltgesundheitsorganisation (WHO) 1994 folgende Definition der Osteoporose für weiße Frauen auf Basis der Knochendichtemessung: Osteoporose liegt vor, wenn ein Wert der *bone mineral density* (BMD) oder der *bone mineral content* (BMC) 2,5 Standardabweichungen (SD) oder mehr unterhalb des Mittelwertes eines jungen, gesunden Referenzkollektivs liegt (Kanis et al. 1994, Kanis und Glüer 2000, Kanis und WHO Study Group 1994, WHO 1994 S. 5f). Im Jahr 2000 wurde die Definition von Osteoporose angepasst: Osteoporose ist eine Skeletterkrankung, die durch eine unzureichende Knochenfestigkeit gekennzeichnet ist, welche zu einem erhöhten Frakturrisiko beiträgt. Die Knochenfestigkeit spiegelt dabei primär das Zusammenwirken von Knochendichte und Knochenqualität wider (NIH Consensus Development Panel 2001). 2008 wurde die Definition dahingehend erweitert, dass der Oberschenkelhals als Referenz-Messort angegeben wird und sich der Referenzbereich auf ein junges, normales Kollektiv bezieht (weiße Frauen im Alter von 20 bis 29 Jahren) sowie die diagnostischen Kriterien für nicht weiße Frauen und Männer angepasst werden können (Kanis et al. 2008a).

Osteoporose verläuft meist so lange unerkannt, bis sie durch das Auftreten von Frakturen, bedingt durch die verminderte Knochenfestigkeit, klinisch manifestiert ist. Klinische Symptome, die vor den Frakturen auftreten, sind nicht bekannt. Grundsätzlich kann jeder Knochen des Skeletts von einer osteoporotischen Fraktur betroffen sein; am häufigsten jedoch treten Frakturen des Unterarms, der Hüfte, des Oberschenkelhalses und der Wirbel auf (Johnell und Kanis 2005, RKI 2012, WHO 2003 S. 2ff; 31ff).

Hüftfrakturen sind oft sehr schmerzhaft, und aufgrund des akuten Ereignisses führen diese zu einer stationären Aufnahme ins Krankenhaus und einer operativen Versorgung. Wirbelfrakturen führen zu einer Abnahme der Körpergröße, zur Verformung des Oberkörpers mit Kyphosierung des Rückens („Witwenbuckel“), zur Verkürzung des Rippen-Becken-Abstands sowie zu Einengungen des Brustkorbes. Als Folge davon können chronische oder akute Schmerzen sowie funktionelle Beeinträchtigungen der Lunge und des Gastrointestinaltraktes auftreten.

Demnach sind Osteoporose-assoziierte Frakturen für die Betroffenen meist mit erheblichen Einschränkungen in Bezug auf die Funktionalität, die Mobilität und die Lebensqualität verbunden. Osteoporotische Frakturen erhöhen bei Frauen und Männern jedoch nicht nur die Morbidität, sie sind auch mit einer erhöhten Mortalität verbunden, besonders im ersten Jahr nach der Fraktur (Borgström et al. 2006, Hasserijs et al. 2005, Hernlund et al. 2013, Ismail et al. 1999, Johnell et al. 2004, Johnell und Kanis 2005, Lau et al. 2008, Leidig-Bruckner et al. 1997, Pande et al. 2006, WHO 2003 S. 2ff).

Repräsentative Zahlen für die Prävalenz von Osteoporose in Deutschland, gemäß der Definition der WHO-Arbeitsgruppe, liegen derzeit nicht vor (Häussler et al. 2007).

In der Augsburger MONICA-Studie wird eine Lebenszeitprävalenz in der Altersgruppe der 25- bis 74-Jährigen beruhend auf der Datenerhebung von 1994/1995 mit sieben Prozent bei Frauen und einem Prozent bei Männern angegeben (Meisinger et al. 2002). Nach Daten des telefonischen Gesundheitssurveys 2003 (GSTel03) des Robert Koch-Instituts (RKI) betrug die Lebenszeitprävalenz bei Frauen ab 45 Jahren insgesamt 14,2 % (Scheidt-Nave und Starker 2005), in GEDA10 (Gesundheit in Deutschland aktuell 2010) des RKI betrug sie 15,7 % bei Frauen und 4,1 % bei Männern.

Schätzungen zufolge betrug die Prävalenz von Osteoporose bei über 50-jährigen Deutschen im Jahr 2003 basierend auf Routinedaten der Gmünder Ersatzkasse 26 % (7,8 Millionen), wobei sie mit zunehmendem Alter anstieg (Häussler et al. 2007).

Bei der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1, 2008-2011) des RKI gaben 8,5 % aller Befragten zwischen 50 und 79 Jahren an, jemals eine ärztlich diagnostizierte Osteoporose gehabt zu haben, wobei Frauen häufiger betroffen (13,1 %) waren als Männer (3,2 %) (Fuchs et al. 2013).

Hernlund et al. (2013) berechneten die Osteoporoseprävalenz für die Europäische Union (EU) ausgehend von der alters- und geschlechtsspezifischen Prävalenz der Osteoporose in der NHANES III Studie und bezogen diese auf die Demographie der Bevölkerung. Von allen 27 europäischen Staaten im Jahr 2010 hatte Deutschland die höchste Zahl an Osteoporose-Betroffenen. Die geschätzte Prävalenz anhand der WHO-Kriterien lag bei Frauen über 50 Jahren bei 22,6 % und bei Männern bei 6,6 %.

Aufgrund der steigenden Lebenserwartung wird die Zahl der osteoporotischen Frakturen in den nächsten Jahrzehnten weiter ansteigen (Cooper 1999, Reginster und Burlet 2006, Sambrook und Cooper 2006, Tyndall et al. 2008).

Osteoporose und das Auftreten von Frakturen und deren Folgen haben enorme soziale und ökonomische Auswirkungen auf das Gesundheitssystem. In Deutschland belaufen sich die direkten und indirekten Folgekosten der Osteoporose konservativen Schätzungen zufolge auf jährlich vier bis fünf Millionen DM (Deutsche Mark) (Scheidt-Nave 2001).

Für die 27 Länder der Europäischen Union wurden für das Jahr 2010 Osteoporose-bedingte Kosten in Höhe von 37 Milliarden Euro geschätzt. Es wird erwartet, dass die Kosten im Jahr 2025 um 25 % auf 47 Milliarden Euro ansteigen werden (Hernlund et al. 2013, Svedbom et al. 2013). Für Deutschland wurden für das Jahr 2010 Kosten der Osteoporose auf 9 Milliarden geschätzt (Svedbom et al. 2013). Lippuner et al. (1997) berichten, dass in der Schweiz aufgrund der Frakturen mehr Tage im Krankenhaus verbracht werden als bei anderen Erkrankungen wie beispielsweise Herzinfarkt, Schlaganfall und Brustkrebs.

Dies macht deutlich, dass aufgrund der hohen Kosten für das Gesundheitssystem, die durch osteoporotische Frakturen und deren Folgen verursacht werden, effektive Präventionsmaßnahmen und -strategien entwickelt werden müssen (Faulkner und Bailey 2007, Johnell und Kanis 2005, Ström et al. 2008).

2.1.2 Struktur und Zusammensetzung des Knochengewebes

Die Festigkeit der Knochen wird sowohl durch die Struktur (1) als auch die Zusammensetzung des Knochengewebes (2) erreicht.

1) Struktur des Knochengewebes

Es wird zwischen zwei Arten des Knochengewebes unterschieden: das kortikale und das trabekuläre Knochengewebe. In ihrer zellulären und molekularen Zusammensetzung ähneln sich kortikaler und trabekulärer Knochen, sie unterscheiden sich aber signifikant in ihrer Funktion und mechanischen Eigenschaft voneinander (Grabowski 2009).

Das kortikale Knochengewebe (Substantia compacta, kortikaler Knochen) bildet die äußere Schicht des Knochens und grenzt ihn nach außen und bei Röhrenknochen auch nach innen zum Markraum ab. Dieses Knochengewebe ist durch einen schichten- bzw. schalenartigen Aufbau helikal verlaufender, parallel angeordneter Kollagenfaserbündel mit einer entsprechenden Parallelausrichtung der Apatitkristalle charakterisiert (Lamellen), die sich dann wiederum zu größeren Baueinheiten zusammenfassen lassen (äußere und innere Generallamellen, Osteone) (Mutschler et al. 2007 S. 47f). Das Knochengewebe ist hier sehr dicht gepackt und bis zu 90 % calcifiziert. Je nach funktionellem Erfordernis variiert die Dicke der Kortikales.

Kortikaler Knochen findet sich vor allem an den Diaphysen der langen Knochen und an den Oberflächen der flachen Knochen. Somit kann der kortikale Knochen kombinierten Kräften des axialen Stauchens, Biegens und Verdrehens widerstehen (Kontulainen et al. 2007).

Im Inneren des Knochens befindet sich trabekuläres Knochengewebe (Substantia spongiosa, trabekulärer Knochen). Es ist ein schwammartiges, dreidimensionales Gerüstwerk feiner Knochenbälkchen und dünner Platten, in dessen Zwischenräumen sich das Knochenmark befindet. Trabekulärer Knochen findet sich vor allem in den Meta- und Epiphysen der Röhrenknochen und im Inneren der flachen Knochen und Wirbel. Durch die feingliedrige Anordnung besitzt der trabekuläre Knochen eine größere Oberfläche als der kortikale Knochen. Somit wird dem Knochen seine Druck- und Biegefestigkeit verliehen. Die Bälkchen passen sich den Belastungslinien (Trajektionslinien) an. Je dichter die Verknüpfungspunkte der Bälkchen sind, desto stabiler ist der Knochen. Trabekulärer Knochen ist aus diesem Grund flexibler, weil er mehr deformieren kann und für die zusammendrückenden Belastungen, die an den Enden der Knochen auftreten, besser geeignet ist (Kontulainen et al. 2007).

Das menschliche Skelett eines erwachsenen Menschen besteht in etwa aus 80-85 % kortikalem Knochen und 15-20 % aus trabekulärem Knochen. Der Übergang zwischen den beiden Ausprägungsformen des Knochengewebes ist fließend. Durch die unterschiedliche Struktur des Knochens werden zum einen eine große Festigkeit und zum anderen ein minimaler Materialbedarf und damit ein geringes Gewicht erreicht (Bartl 2011 S. 4; 17, Binkley et al. 2008, Downey und Siegel 2006, Huch und Jürgens 2011 S. 76, Jerosch et al. 2002 S. 24, Mora und Gilsanz 2003, WHO 2003 S. 10).

2) Zusammensetzung des Knochengewebes

Histologisch gesehen besteht das Knochengewebe aus der Knochenmatrix (Interzellulärsubstanz) mit zugfesten Kollagenfasern (30-40 % der Trockenmasse) mit den dazwischen eingelagerten, druckfesten Hydroxylapatitkristallen (60-70 % der Trockenmasse) und den Knochenzellen (2 %).

Die Knochenmatrix ist überwiegend aus Kollagen Typ 1 (90 %) und anderen nicht kollagenen Proteinen (10 %) wie Osteocalcin, Osteonectin, Fibronectin, Matrix Gla-Protein, Proteoglykane, Osteopontin (Sialoprotein I), Sialoprotein II und Bone Morphogenetic Proteins aufgebaut. Darüber hinaus enthält die organische Phase der Knochenmatrix noch verschiedene Lipide und Wachstumsfaktoren sowie weitere Proteine, wie z. B. die Kollagenase, die aus den Knochenzellen oder benachbarten Geweben stammen.

Die anorganischen Bestandteile wie Hydroxylapatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$), Fluorapatit, Carbonatapatit, Calciumcarbonat und Magnesiumcarbonat sind in Form von Kristallen an die Kollagenfibrillen gelagert. Ionen wie beispielsweise Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , F^- oder andere, die sich zum Zeitpunkt der Kristallbildung in der extrazellulären Flüssigkeit befinden, sind entweder in das Kristallgitter des Hydroxylapatits eingebunden oder werden an der Oberfläche angelagert.

Die Einlagerung von anorganischem Material in die organische Matrix ist für die Festigkeit des Knochens verantwortlich (Bartl 2011 S. 3f, Downey und Siegel 2006, Harada und Rodan 2003, Heaney 2006 S. 1314-1316, Jerosch et al. 2002 S. 18-22, Khan 2001 S. 3-9, Marks und Popoff 1988, Mutschler et al. 2007 S. 47, WHO 2003 S. 10f).

Darüber hinaus gibt es verschiedene Zellen wie Osteoblasten, Osteoklasten und Knochenbelegzellen, die sich auf der Oberfläche des Knochengewebes befinden, und Osteozyten, die im Inneren des Knochens lokalisiert sind.

Osteoblasten, die knochenaufbauenden Zellen, synthetisieren die unmineralisierte Knochenmatrix, vor allem Kollagen Typ 1, Osteocalcin und Osteonectin. Zudem sezernieren sie das Enzym alkalische Phosphatase, das die Knochenmatrix auf die Mineralisierung vorbereitet (Bartl 2011 S. 10, Downey und Siegel 2006, Hadjidakis und Androulakis 2006, Harada und Rodan 2003, Heaney 2006 S. 1315f, Jerosch et al. 2002 S. 18ff, Marks und Popoff 1988).

Osteoklasten sind für die Knochenresorption verantwortlich: Sie sezernieren starke Säuren und proteolytische Enzyme, die zunächst die Knochenmatrix auflösen und die organische Matrix abbauen und phagozytieren (Bartl 2011 S. 8, Boyle et al. 2003, Downey und Siegel 2006, Heaney 2006 S. 1315f, Jerosch et al. 2002 S. 20, Marks und Popoff 1988).

Knochenbelegzellen bedecken etwa bis zu 95 % der Knochenoberfläche des reifen Skeletts und stellen inaktive Osteoblasten dar. Über ihre Funktion ist bisher wenig bekannt. Sie scheinen als Schutzschicht zwischen extrazellulärer Flüssigkeit und Knochen zu dienen und sezernieren Enzyme, die das Osteoid abbauen und die Knochenresorption durch die Osteoklasten vorbereiten (Bartl 2011 S. 11-14, Downey und Siegel 2006, Heaney 2006 S. 1315f, Marks und Popoff 1988).

Osteozyten werden bei der Knochengewebsbildung in die Knochenmatrix als Osteoblasten eingebaut und entwickeln sich zu Osteozyten weiter. Obwohl über die Funktion der Osteozyten noch wenig bekannt ist, scheinen sie an der interzellulären Kommunikation, am Transport von organischen und anorganischen Stoffen im Inneren des Knochens und an der Mineralstoff-Homöostase beteiligt zu sein. Zudem können sie durch die Registrierung des Knochengewebealters und durch ihre mechanosensorischen Fähigkeiten den Umbau und die funktionelle Adaption an Belastungen des Knochengewebes einleiten (Bartl 2011 S. 10f, Downey und Siegel 2006, Heaney 2006 S. 1315f, Jerosch et al. 2002 S. 20, Marks und Popoff 1988, WHO 2003 S. 11f).

2.1.3 Entwicklung/Aufbau der Knochenmasse

Das Knochenwachstum beginnt bereits während der Fetogenese und endet mit Abschluss der Pubertät, wenn das Längenwachstum des Skeletts beendet ist. Damit ist die Entwicklung der Knochenmasse aber noch nicht abgeschlossen. Die Mineralisierung der neu gebildeten Knochenmasse dauert weiterhin an.

Der Knochen ist ein dynamisches Gewebe, der fortwährend erneuert, umgebaut und kontinuierlich an die funktionellen Bedürfnisse und Anforderungen angepasst wird (Bartl 2011 S. 8, Harada und Rodan 2003, Heaney et al. 2000, Raisz 2004 S. 44).

Die Kindheit und Jugend sind eine sehr wichtige Zeit, da das Skelett aufgrund des Längenwachstums (endochondrale Ossifikation, 1), des Knochenwachstums in die Breite (*modeling*, 2) und des gleichzeitigen Auftretens des Knochenumbaus (*remodeling*, 3) schnellen Veränderungen unterworfen ist (Faulkner und Bailey 2007).

1) Endochondrale Ossifikation

Das Längenwachstum der Knochen findet an den Epiphysenfugen statt. Diese sind schmale Zonen bestehend aus Knorpelzellen, die zwischen der Diaphyse und den Ossifikationskernen der Epiphysen der Röhrenknochen übrig bleiben. Die Knorpelzellen proliferieren und bilden neues Knorpelgewebe. Somit werden die Epiphysen vom Knochenschaft weiter entfernt. Von der Diaphyse her dringen Blutgefäße in das Knorpelgewebe der Wachstumszone ein und die dort mittransportierten Knochenzellen (Osteoklasten und Osteoblasten) formen bzw. bauen das neu gebildete mineralisierte Knorpelgewebe in Knochengewebe um.

Dieser Prozess wiederholt sich ständig in der Kindheit und erhöht sich sprunghaft während des Wachstumsschubes bis die Knorpelzellen ihre Proliferation einstellen. Die Epiphysenfugen verschwinden und verknöchern. Damit ist die Skelettreife erreicht, ein Längenwachstum ist nicht mehr möglich (Cooper et al. 2008, Gafni und Baron 2007 Heaney 2006 S. 1317, Huch und Jürgens 2011 S. 78f, Jerosch et al. 2002 S. 14, Kontulainen et al. 2007).

2) Modeling

Unter *modeling* wird die gleichzeitige Knochenresorption und Knochenformation an unterschiedlichen Stellen des Knochens durch organisierte Knochenzellaktivitäten verstanden. Dies führt zum einen zu Knochenwachstum und zum anderen zur Anpassung der Knochenfestigkeit. Dabei werden die Knochen in ihrer Masse sowie in ihrer Breite verändert.

Beim Wachstum in die Breite lagern Osteoblasten parallel zur Knochenoberfläche der Kortikales konzentrische Knochenlamellen an. Gleichzeitig wird endostal durch Osteoklasten der Knochen um die Markhöhle herum abgebaut. Die Knochenschale wird nach peripher verschoben. Dies führt zu Veränderungen der Knochenform sowie zur periostalen und endokortikalen Ausdehnung. Die Knochenfestigkeit wird somit durch einen vergrößerten endostalen Durchmesser und Anpassungen der Orientierung der Trabekel verbessert. Das *modeling* ist der vorherrschende Prozess in der Kindheit und Jugend (Cooper et al. 2008, Gafni und Baron 2007, Hadjidakis und Androulakis 2006, Heaney 2006 S. 1317f, Huch und Jürgens 2011 S. 77, Jerosch et al. 2002 S. 14; 16, Kontulainen et al. 2007, U.S. Department of Health and Human Services 2004 S. 21-24, WHO 2003 S. 12).

3) Remodeling

Beim *remodeling* (Knochenumbau) wird an derselben Stelle Knochen resorbiert und wieder neu gebildet, so dass die Form des Knochens nicht verändert wird. Durch diesen Prozess im gesunden Skelett wird gewährleistet, dass der resorbierte Knochen vollständig durch den neu gebildeten Knochen ersetzt wird. Dadurch wird sichergestellt, dass die Knochenbilanz ausgeglichen ist und die Knochenmasse erhalten bleibt.

Der Knochen kann veränderten körperlichen Belastungen angepasst werden, alterndes Knochengewebe ersetzt, die Calcium- und Phosphat-Homöostase im Organismus aufrechterhalten sowie die Reparatur und Heilung von verletztem Knochen (Fraktur) und von mikroskopisch kleinen Perforationsbrüchen der Knochenbälkchen (Mikrofraktur) ermöglicht werden.

Das *remodeling* verläuft zyklisch, wobei eine Reihe verschiedener zellulärer Prozesse in einem bestimmten Zeitraum stattfinden und der Knochenumbau durch Gruppen von Knochenzellen (*bone multicellular units*) durchgeführt wird. Innerhalb von etwa 120 Tagen verlaufen die Aktivierungs-, Resorptions-, Umschalt-, Formations- und Ruhephase. Bei Erwachsenen ist das *remodeling* der vorherrschende Prozess (Bartl 2011 S. 8, Eriksen 2010, Hadjidakis und Androulakis 2006, Harada und Rodan 2003, Heaney 2006 S. 1317f, Heaney et al. 2000, Jilka 2003, Parfitt et al. 2000, Raisz 2004 S. 44-47, Robling et al. 2006, U.S. Department of Health and Human Services 2004 S. 24f, WHO 2003 S. 12f).

2.1.4 Regulation des Knochenstoffwechsels

Die Knochenentwicklung einschließlich Differenzierung, Wachstum und Reparatur der Zellen unterliegt sowohl genetischen als auch Umweltfaktoren. Ausgehend von Zwillings- und Familienstudien ist geschätzt worden, dass 50 bis 85 % der PBM genetischen Faktoren zugeschrieben werden kann (Bachrach 2001, Bonjour et al. 2007, Rubin et al. 1999). In den letzten Jahren wurden mehr als 30 Kandidatengene für die Regulation der Knochenmasse identifiziert, die für Hormone bzw. deren Rezeptoren, Knochenmatrixproteine, Zytokine bzw. für deren Rezeptoren und verschiedene Transkriptionsfaktoren codieren (Liu et al. 2006, Ralston und Uitterlinden 2010).

Darüber hinaus beeinflussen und regulieren Hormone wie Parathormon, Calcitriol, Calcitonin, Glucocorticoide, Schilddrüsenhormone, Wachstumshormon, Androgene und Östrogene bzw. Zytokine (tumor-necrosis factors, Interleukine), Wachstumsfaktoren (insulin-like growth factor-I, fibroblast-growth-factors), Prostaglandine und Transkriptionsfaktoren den Aufbau der Knochenmasse und den Knochenstoffwechsel.

Des Weiteren haben Nährstoffe wie Calcium, Vitamin D, Natrium und Vitamin K sowie andere Lebensmittelinhaltsstoffe wie Koffein und Phytoöstrogene, körperliche Aktivität durch mechanische Belastungen, Genussmittel wie Rauchen (Korkor et al. 2009, Lorentzon et al. 2007, Lucas et al. 2012, Taes et al. 2010), Medikamente, Kontrazeptiva (Cromer 1999, Herrmann und Seibel 2010, Martins et al. 2006, Nappi et al. 2012, Warholm et al. 2012, Ziglar und Hunter 2012) sowie bestimmte Krankheiten einen Einfluss auf den Aufbau der Knochenmasse, die PBM und den Knochenstoffwechsel.

Bereits intrauterin wird das Wachstum des Fetus durch *programming* beeinflusst. Der Lebensstil der Mutter während der Schwangerschaft scheint die Knochenentwicklung des Fetus bereits wesentlich zu beeinflussen (Bachrach 2001, Bartl 2011 S. 17-20, Boyle et al. 2003, Cromer und Harel 2000, Downey und Siegel 2006, Faulkner und Bailey 2007, Gafni und Baron 2007, Grabowski 2009, Hadjidakis und Androulakis 2006, Harada und Rodan 2003, Heaney et al. 2000, Holroyd et al. 2012, Khan 2001 S. 6ff, Kontulainen et al. 2007, Matkovic et al. 2004b, Robling et al. 2006, Schoenau 2006, WHO 2003 S. 12ff).

2.1.5 Verlauf der Knochenmasse

In den ersten zwei Lebensdekaden nimmt die Knochenmasse so lange zu (= positive Knochenbilanz) bis ein Plateau bzw. die maximale Knochenmasse des ausgewachsenen Skeletts (*peak bone mass*, PBM) erreicht ist. Sie ist definiert als die Menge an Knochengewebe am Ende der Skelettreifung (Bonjour et al. 1994). Zu diesem Zeitpunkt ist die Mineralisierung der Knochen maximal.

Der Zeitpunkt des Erreichens der PBM wird in der Literatur kontrovers diskutiert und variiert in Abhängigkeit vom Geschlecht der Probanden, von der gemessenen Skelettregion und dem verwendeten Messverfahren (Bachrach 2001, Bailey et al. 1999, Cooper et al. 2008, Dawson-Hughes 2006 S. 1340f, Gafni und Baron 2007, Matkovic et al. 2004a S. 174ff; 178f, Mora und Gilsanz 2003, Walsh et al. 2009).

Bis zum Ende der dritten bzw. zum Anfang der vierten Lebensdekade bleibt die Knochenmasse relativ stabil (= ausgeglichene Knochenbilanz). Etwa ab der vierten Lebensdekade beginnt der Knochenabbau zu überwiegen (= negative Knochenbilanz). Bei Männern und zunächst ebenso bei Frauen beträgt die jährliche Verlustrate an Knochenmasse etwa einen Prozent. Zu Beginn der Menopause erhöht sich die Abnahme der Knochenmasse bei Frauen infolge der Abnahme des Östrogenspiegels auf das etwa 2- bis 6-fache der prämenopausalen Verlustrate. Schätzungsweise zehn Jahre nach dem Beginn der Menopause verlangsamt sich der Knochenabbau und der Verlust beträgt wieder durchschnittlich ein Prozent der Knochenmasse pro Jahr (Bartl 2011 S. 20f, Dawson-Hughes 2006 S. 1340f, Faulkner und Bailey 2007).

2.1.6 Bestimmung der Knochenmasse

Um die Knochenmasse zu bestimmen, stehen verschiedene Messverfahren zur Verfügung. Der Dachverband Osteologie e. V. (2009) und die WHO (1994) empfehlen die Osteodensitometrie als „Standardverfahren zur Knochendichtemessung“.

Die Osteodensitometrie ist ein Verfahren, bei der die Knochenmasse indirekt und nicht-invasiv bestimmt werden kann (Damilakis et al. 2007a, Hadji et al. 2001b, Kann 2001, Njeh et al. 1999). In Tabelle 2-1 (15) sind gängige Methoden der Osteodensitometrie dargestellt.

Tabelle 2-1: Methoden der Osteodensitometrie

Verfahren	Beispiele
Mit Röntgenstrahlung	Single-Energy X-Ray Absorptiometry (SXA) Dual-Energy X-Ray Absorptiometry (DXA) Quantitative Computertomographie (QCT) Periphere quantitative Computertomographie (pQCT)
Mit Gammastrahlung *	Single-Photon Absorptiometrie (SPA) Dual-Photon Absorptiometrie (DPA)
Ohne energiereiche Strahlung	Magnetresonanztomographie (MRT) Quantitative Ultrasonometrie (QUS)

* obsolete Verfahren

(Quelle: Damilakis et al. 2007a, Hadji et al. 2001b, Kann 2001)

Das Grundprinzip der Verfahren mit Röntgen- oder Gammastrahlung ist die Messung der Strahlungsabschwächung durch den Knochen. Die Abschwächung wird überwiegend durch den Hydroxylapatit im Knochen bestimmt. Daher werden die Messergebnisse vereinfacht als Knochenmineraldichte (BMD) bezeichnet. Die BMD entspricht nicht der physikalischen Größe Dichte, sondern gibt die Masse Hydroxylapatit pro Volumen- bzw. Flächeneinheit an (Cummings et al. 2002, Hadji et al. 2001b, Kanis et al. 2008a, Kann 2001).

Zu beachten ist, dass die wahre Knochendichte (Knochenmasse pro Knochenvolumen) mit den oben genannten Methoden nicht ermittelt werden kann, da die Messprinzipien dies nicht zulassen. Es kann nur die apparente Knochendichte bestimmt werden. Das heißt, es können nur Aussagen darüber getroffen werden, welche Knochenmasse innerhalb einer bestimmten Fläche bzw. eines bestimmten Volumens vorhanden ist, wobei die Fläche bzw. das Volumen nicht nur Knochengewebe enthält, sondern auch andere Komponenten wie z. B. Knochenmark (Bolotin 2007, Cummings et al. 2002, Faulkner 2005, Kann 2001, Seeman 1997).

Als „Goldstandard“ für die Knochendichtemessung wird die Doppelröntgen-Absorptiometrie (DXA) an der Lendenwirbelsäule und am proximalen Femur bei Erwachsenen und auch bei Kindern und Jugendlichen verwendet, da dies die empfindlichsten und frakturgefährdetsten Skelettareale sind (Bartl 2011 S. 84, DVO 2009, Gordon et al. 2008).

Sie zählt zu den planaren Messverfahren: Hier wird die gemessene Masse kalziumreicher Kristalle pro Flächeneinheit in g/cm² angegeben (Adams 1997, Blake und Fogelman 1997, Damilakis et al. 2007a, Hadji et al. 2001a).

Die DXA ermöglicht die Diagnosestellung einer Osteoporose im Sinne der WHO-Klassifikation sowie die Belegung der Wirksamkeit der Therapie. Zudem kann das Ausmaß der Knochendichteer niedrigung erfasst und somit das individuelle Risiko für osteoporotische Frakturen abgeschätzt werden. Sie ist teuer, aufwendig und verursacht eine Strahlenbelastung. Für den Einsatz im Feld und/oder als Screening-Methode ist die DXA weniger gut geeignet (Bachrach 2006, Baim et al. 2008, Carter et al. 1992, Crabtree und Ward 2009, Damilakis et al. 2007a, Gordon et al. 2008, Hadji et al. 2001b, Kanis et al. 1994, Kann 2001, Njeh et al. 1999, Schönau 1998, Tyndall et al. 2008).

Die quantitative Computertomographie (QCT) bzw. periphere quantitative Computertomographie (pQCT) ist eine Methode, bei der volumetrische Messungen der BMD möglich sind, die nicht von der Knochengröße abhängig sind und die nicht durch die Überlagerung vom umliegenden Gewebe beeinflusst werden. Die Messergebnisse werden in g/cm^3 angegeben. Die QCT ermöglicht eine Unterscheidung zwischen spongiösen und kompakten Knochen. Allerdings verursacht die QCT eine deutlich höhere Strahlenbelastung als DXA und ist somit für häufige Kontrollmessungen weniger geeignet (Bartl 2011 S. 98, Bartl und Gradinger 2009, Crabtree und Ward 2009, Damilakis et al. 2007a, Guglielmi und Lang 2002, Guglielmi et al. 1997, Hadji et al. 2001b, Kontulainen et al. 2007, Zemel et al. 2008).

Ein alternatives Verfahren stellt die quantitative Ultrasonometrie (QUS) dar. Die QUS ist eine strahlenfreie, kostengünstige, schnelle und portable Methode, die mittels Ultraschall Informationen über die Knochendichte sowie über die Struktur und die Elastizität des Knochens liefert. Somit ist die QUS unter anderem interessant für den Einsatz bei Kindern und Jugendlichen (Barkmann und Glüer 2006, Baroncelli 2008, Cortet et al. 2004, Damilakis et al. 2007a, Hadji et al. 2001a, Nicholson et al. 2001, Njeh et al. 2001).

Bei Erwachsenen konnte gezeigt werden, dass DXA-Werte gut mit den QUS-Parametern korrelieren, Personen mit einer verminderten Knochendichte identifiziert und diskriminiert sowie Hüftfrakturen und weitere osteoporotische Frakturen vorhergesagt werden können. Aufgrund der einfachen Anwendung und der fehlenden Strahlung hat sich die QUS als Screening-Methode zur Abschätzung eines osteoporotischen Frakturrisikos durchgesetzt (Bartl 2011 S. 91f, Damilakis et al. 2007a, Hartl et al. 2002, Hawker et al. 2002, Jin et al. 2010, Krieg et al. 2008, Krieg et al. 2006, Schnabel et al. 2005).

Studien mit gesunden sowie (chronisch) kranken Kindern und Jugendlichen zeigen schwache bis gute Korrelationen zwischen den QUS-Parametern am Calcaneus und der BMD mittels DXA (Vgl. Tabelle 2-2 S. 18).

QUS-Messungen am Calcaneus bei Kindern und Jugendlichen sind präzise, können zwischen normaler und bereits erniedrigter Knochenmasse unterscheiden sowie die Veränderungen während der Knochenentwicklung bzw. des Wachstums darstellen. Zudem gibt es Hinweise darauf, dass das Frakturrisiko erfasst werden kann (Ahuja et al. 2006, Alwis et al. 2010, Baroncelli 2008, Brukx und Waelkens 2003, Falcini et al. 2000, Fielding et al. 2003, Jaworski et al. 1995, Lehtonen-Veromaa et al. 2000a, Lum et al. 1999, Mughal et al. 1996, Sundberg et al. 1998, Wang et al. 2008, Wünsche et al. 2000).

Tabelle 2-2: Zusammenhang zwischen der quantitativen Ultraschallsonometrie am Calcaneus und DXA bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Messregion mittels DXA	QUS-Model: Messregion	Korrelationskoeffizient r	
Ahuja et al. (2006)	42 Kinder und Jugendliche mit Leukämie, 4-20 J	Gesamter Körper, Lendenwirbelsäule, Femur	Calcaneus	k. A.	
Alwis et al. (2010)	1076 (558/518) gesunde Kinder und Jugendliche, 6-19 J	Femur, Lendenwirbelsäule (L2-L4), gesamter Körper	Lunar Achilles 1061 (Lunar, Madison, WI): rechter Calcaneus	Ju	BUA:BMC r = 0,64-0,75 BUA:BMD r = 0,64-0,74 SOS:BMC r = 0,40-0,52 SOS:BMD r = 0,41-0,54 SI:BMC r = 0,67-0,74 SI:BMD r = 0,68-0,77
				M	BUA:BMC r = 0,70-0,76 BUA:BMD r = 0,68-0,74 SOS:BMC r = 0,31-0,42 SOS:BMD r = 0,32-0,48 SI:BMC r = 0,66-0,71 SI:BMD r = 0,66-0,74
Brux und Waelkens (2003)	282 (145/137) gesunde und kranke Kinder und Jugendliche mit einem Risiko für eine verminderte Knochenmasse, 7-18 J	Linke Hüfte (Femur), Lendenwirbelsäule (L1-L4)	Sahara clinical bone sonometer (Hologic, Waltham, MA, USA): linker Calcaneus	BUA:BMD r = 0,350-0,500 SOS:BMD r = 0,408-0,455 QUI:BMD r = 0,381-0,493 QUS:DXA r = 0,326 (gesamt)	
Falcini et al. (2000)	53 (12/41) Kinder und Jugendliche mit chronisch rheumatischen Erkrankungen und 55 gesunde Kontrollpersonen, 6-18 J	Lendenwirbelsäule (L1-L4)	McCue Ultrasonics Limited, Compton, Winchester, UK): linker Calcaneus	BUA:BMC r = 0,81 (gesamt) BUA:BMD r = 0,83 (gesamt)	
Fielding et al. (2003)	42 Kinder und Jugendliche mit chronischer Krankheit und/oder Fragilitätsfraktur, 9-21 J	k. A. (BMD, vBMD)	Lunar Achilles Plus Ultrasonometer: Calcaneus	QUS:DXA r = 0,3-0,6	

Autor	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Messregion mittels DXA	QUS-Model: Messregion	Korrelationskoeffizient r	
Jaworski et al. (1995)	89 gesunde Kinder und Jugendliche sowie mit erniedrigter Knochenmasse, 6-18 J	Gesamter Körper, Lendenwirbelsäule (L2-L4), Ferse	Achilles Ultrasound Densitometer (Lunar Corporation, Madison, WI): Calcaneus	BUA:BMD r = 0,80-0,83 SOS:BMD r = 0,67 SI:BMD r = 0,74-0,80	
Lehtonen-Veromaa et al. (2000a)	184 gesunde Mädchen, 11-17 J	Femur, Lendenwirbelsäule (L2-L4)	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, Waltham, MA, USA): linker und rechter Calcaneus	BUA:BMD r = 0,53-0,57 SOS:BMD r = 0,44-0,45	
Lum et al. (1999)	125 (56/69) Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene, 9 -25 J	Lendenwirbelsäule, Femur, gesamter Körper	Ultrasonic bone Analyser (Walker Sonix, Hologic): linker Calcaneus	Alle	BUA:DXA r = 0,32-0,53 SOS:DXA r = 0,24-0,58 Vb:DXA r = 0,28-0,51
				< 18 J	BUA:DXA r = 0,36-0,61 SOS:DXA r = 0,31-0,68 Vb:DXA r = 0,29-0,59
Mughal et al. (1996)	58 gesunde Kinder und Jugendliche, 7-17 J	Gesamter Körper	Paediatric Contact Ultrasound Bone Analyser (CUBA, McCue Ultrasonics Ltd, Compton, Winchester): Calcaneus	BUA:aBMD r = 0,74	
Sundberg et al. (1998)	280 Kinder und Jugendliche, 11-16 J	Gesamter Körper, linke Hüfte, Lendenwirbelsäule (L1-L4), Femur	Achilles+ (Lunar): Calcaneus	Ju	BUA:BMD r = 0,46-0,73 SOS:BMD r = 0,48-0,61 SI:BMD r = 0,50-0,70
				M	BUA:BMD r = 0,44-0,58 SOS:BMD r = 0,51-0,64 SI:BMD r = 0,52-0,67
Wang et al. (2008)	158 gesunde Mädchen und 9 Erwachsene, 10-13 und 37-43 J	Femur (FN), Lendenwirbelsäule (LS, L2-L4)	QUS-2 (Quidel, Santa Clara, CA): Calcaneus	BUA:FN aBMD r = 0,49 BUA:LS aBMD r = 0,60	

(Quelle: eigene Darstellung)

2.2 Einfluss des Lebensstils auf die Knochenmasse

Das Lebensstilkonzept basiert auf der Arbeit von Max Weber. In „Stilisierung des Lebens“ beschreibt er die zwei Begriffe: Lebensführung und Lebenschancen. Die Lebensführung impliziert die Bewältigung des eigenen Lebens (Richtung oder Kontrolle des individuellen Verhaltens). Mit einer bestimmten Lebensführung signalisieren Menschen ihre Zugehörigkeit zu ihrer Statusgruppe. Strukturelle Bedingungen repräsentieren die Lebenschancen. Das heißt bestimmte Lebenschancen können aufgrund sozial-struktureller Bedingungen den Menschen eröffnet oder verschlossen werden (Abel 1991, Weber 1972).

Diese zwei Begriffe sind als voneinander abhängige Aspekte eines gesunden Lebensstils zu verstehen: Lebenschancen sind eng mit dem individuellen Gesundheitsverhalten verknüpft. Gleichzeitig hat ein die Gesundheit beeinträchtigendes Verhalten Konsequenzen für den Gesundheitsstatus, welches die individuellen Lebenschancen verringert (Abel 1991).

Um den Begriff Lebensstil für die empirische Gesundheitsforschung zu operationalisieren, schlägt Abel folgende Definition vor: *“Health lifestyles comprise patterns of health-related behavior, values and attitudes adapted by groups of individuals in response to their social, cultural and economic environment.”* (Abel 1991). Aufgrund eines Übersetzungsfehlers des Konzepts von Webers „Lebensstil“, wird der Begriff Lebensstil oft synonym für Gesundheitsverhalten in der englischen Literatur verwendet (Balía und Jones 2008, Contoyannis und Jones 2004, Lynch et al. 1997).

Zusammenhänge zwischen dem Lebensstil und der Gesundheit sind komplex: Auf der einen Seite hängt der Gesundheitszustand längerfristig vom Lebensstil ab. Auf der anderen Seite fördert oder erschwert der Gesundheitszustand bestimmte Lebensstile. Zudem haben der sozioökonomische Status (SES), das Geschlecht und das Alter einen Einfluss auf den Lebensstil.

Die Ernährung, die körperliche Aktivität und der Genussmittelkonsum wie Rauchen oder Alkoholkonsum sind Beispiele für Lebensstilfaktoren.

2.2.1 Ernährung

Prinzipiell ist die Ernährung für den Aufbau und Erhalt der Körperfunktionen essentiell. Daher ist in jeder Lebensphase eine ausgewogene und abwechslungsreiche Ernährung für die Gesundheit und das Wohlbefinden bedeutsam (DGE 2001, RKI 2002, WHO 2002).

Bezogen auf die Knochengesundheit spielt die Ernährung während des Wachstums eine besondere Rolle: Zum einen werden wichtige Nährstoffe wie z. B. Calcium, Vitamin D, Phosphor und Protein, die für den Aufbau der Knochenmasse nötig sind, mit der Nahrung aufgenommen.

Zum anderen können weitere Nährstoffe sowie Lebensmittelinhaltsstoffe nicht nur den Aufbau der Knochenmasse, sondern auch die PBM und den Knochenstoffwechsel sowohl positiv als auch negativ beeinflussen.

2.2.1.1 Calcium

Calcium ist der mengenmäßig wichtigste Mineralstoff im menschlichen Organismus, mehr als 99 % des Calciums sind in Knochen und Zähnen zu finden. Somit ist das Knochengewebe ein wichtiger Speicher für Calcium (DGE 2013a).

Die DGE (2013a) empfiehlt Kindern und Jugendlichen zwischen 10 bis unter 13 Jahren täglich 1100 mg Calcium aufzunehmen, den Älteren bis unter 19 Jahren wird eine tägliche Aufnahme von 1200 mg Calcium empfohlen.

Um die Calcium-Empfehlung zu erreichen, sollten täglich fettarme Milch und Milchprodukte verzehrt werden. Sie sind aufgrund ihres hohen Calciumgehalts und der konsumierten Menge die Hauptlieferanten von Calcium. Des Weiteren sind einige Gemüsearten wie Brokkoli, Grünkohl und Rucola, Mineralwässer mit einem Gehalt über 150 mg Calcium pro Liter sowie einige Nüsse wie Haselnuss und Paranuss empfehlenswert (DGE 2013a).

In der EsKiMo-Studie (Ernährungsstudie als KiGGS-Modul)¹, die 2006 zeitversetzt zu KiGGS durchgeführt wurde und in der 2506 Kinder und Jugendliche im Alter von sechs bis 17 Jahren detailliert zu ihrer Ernährung befragt wurden, werden als Hauptquellen für Calcium Milchprodukte, Käse und Quark sowie Wasser als Getränk angegeben (Mensink et al. 2007b).

Laut dem Forschungsinstitut für Kinderernährung (Alexy et al. 2008, FKE 2008) zählen Milch und Milchprodukte in der Ernährung von Kindern und Jugendlichen zu den empfohlenen, aber mäßig zu verzehrenden Lebensmitteln. In Tabelle 2-3 (S. 22) sind die Verzehrempfehlungen des FKE für Milch und Milchprodukte unter Berücksichtigung des Energiebedarfs für die 10- bis 18-jährigen Jungen und Mädchen dargestellt.

¹ Dafür wurde für die 6- bis 11-jährigen Kinder ein 3-Tage-Schätz-Protokoll eingesetzt, bei den 12- bis 17-Jährigen wurde die validierte Software DISHES (modifiziertes Diet-History-Interview) verwendet.

Tabelle 2-3: Empfohlene Zufuhr von Milch und Milchprodukten

Alter	Milch(-produkte) [mL (g)/Tag]	
	Jungen	Mädchen
10 bis 12 Jahre	420	
13 bis 14 Jahre	450	425
15 bis 18 Jahre	500	450

(Quelle: Alexy et al. 2008, FKE 2008)

Ergebnisse des Kinder- und Jugendgesundheits surveys (KiGGS) des RKI (2003-2006) zeigen, dass etwa die Hälfte der Jungen (55 %) und Mädchen (50 %) täglich Milch trinken, wobei mit zunehmendem Alter der tägliche Milchkonsum abnimmt. Dafür nimmt der Käseverzehr mit steigendem Alter zu (Mensink et al. 2007a).

Unterstützt werden die Befunde durch die Ergebnisse der EsKiMo-Studie: Etwas mehr als die Hälfte der Kinder und Jugendlichen erreichen die Empfehlungen für den Verzehr von Milch und Milchprodukten nicht. Vor allem Mädchen verzehren im Vergleich zu den Jungen deutlich weniger Milch und Milchprodukte (Mensink et al. 2007b).

Ob sich eine hohe Calciumaufnahme im Kindes- und Jugendalter positiv auf die Knochengesundheit auswirkt, ist bisher nicht eindeutig geklärt.

Es gibt positive Zusammenhänge zwischen der Calciumaufnahme und der Knochenmasse bei Jungen (Prentice et al. 2005, Vatanparast et al. 2005) und Mädchen (Rozen et al. 2003) bzw. bei beiden Geschlechtern (Gracia-Marco et al. 2012a). Andere Studien haben keine Zusammenhänge bei Mädchen (Dodiuk-Gad et al. 2005, Maggiolini et al. 1999, Vatanparast et al. 2005) bzw. bei beiden Geschlechtern (Mouratidou et al. 2013) zwischen Calcium und Knochenmasse gefunden (Vgl. Tabelle 2-4 S. 24).

Zahlreiche Interventionsstudien belegen, dass sich eine ausreichend hohe Calciumaufnahme im Kindes- und Jugendalter positiv auf die Knochengesundheit auswirkt (Bonjour et al. 2001, Cameron et al. 2004, Dibba et al. 2002, Dodiuk-Gad et al. 2005, Matkovic et al. 2005, Prentice et al. 2005, Stear et al. 2003).

Sowohl bei Jungen als auch bei Mädchen, die in der Pubertät waren, konnte gezeigt werden, dass der Knochenmineralgehalt durch die regelmäßige Einnahme eines Calciumsupplements im Vergleich zu den Jugendlichen, die ein Placebo erhielten, größer war (Chevalley et al. 2005, Dodiuk-Gad et al. 2005, Greene und Naughton 2011, Johnston et al. 1992, Lambert et al. 2008, Lloyd et al. 1996, Matkovic et al. 2004b, Nowson et al. 1997, Prentice et al. 2005, Rozen et al. 2003, Stear et al. 2003).

Die Interventions- und Follow up-Dauer reichte von 8,5 Monaten bis 7 Jahren, und die Kinder und Jugendlichen nahmen während dieser Zeiten täglich 400-1000 mg Calcium als Tablette oder angereicherte Lebensmittel ein. Auch bei weiblichen Zwillingspärchen wurde ein positiver Effekt gefunden: Die Calciumsupplementation führte zu einer erhöhten Knochenmineraldichte pro Flächeneinheit an verschiedenen Stellen des Skeletts (Cameron et al. 2004).

In einer Cochrane-Analyse wurden 19 Studien mit insgesamt 2859 gesunden Kindern analysiert. Es konnte gezeigt werden, dass es einen minimalen Effekt auf die Erhöhung der Knochenmineraldichte in den oberen Gliedmaßen durch die Calciumsupplementation gab. Allerdings merken die Autoren an, dass es unwahrscheinlich ist, dass das Frakturrisiko in der Kindheit oder in späteren Lebensphasen dadurch reduziert wird (Winzenberg et al. 2006).

Im Gegensatz dazu konnten Courteix et al. (2005), Iuliano-Burns et al. (2003), Mølgaard et al. (2004) bei Mädchen im Alter von 8 bis 13 Jahren, 9 Jahren und 12 bis 14 Jahren keinen oder nur marginale Effekte von Calcium auf die Knochenmasse zeigen.

Tabelle 2-4: Zusammenhang zwischen Calcium und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Erfassung Ernährung: durchschnittliche Calciumaufnahme	Messorte (Messart)	Korrelationskoeffizient r	
Dodiuk-Gad et al. (2005)	96 Mädchen	Semiquantitativer FFQ: k. A.	gesamter Körper, Lendenwirbelsäule, Oberschenkelhals (DXA)	k. A.	
Gracia-Marco et al. (2012a)	322 (164/158), 12,5-17,5 J	2 nicht-konsequente 24-h-Recalls: k. A.	Gesamter Körper (TB), Hüfte (H), Lendenwirbelsäule (DXA)	Cal:TB BMC r = 0,12 Cal:H BMC r = 0,23	
Maggiolini et al. (1999)	200 Mädchen, 11-15 J	FFQ, 3-Tage-Ernährungsprotokoll: 387 bzw. 835 mg/d Ca	Nicht-dominanter Radius (DXA)	k. A.	
Mouratidou et al. (2013)	227 (109/118), (HELENA-CSS)	2 24-h-Recall: k. A.	Gesamter Körper, Lendenwirbelsäule, Hüfte, Extremitäten, Becken (DXA)	n. s.	
Prentice et al. (2005)	143 Jungen, 16-18 J	FFQ (Calquest), 7-Tage-Schätzprotokoll: 1198 mg/d Ca	gesamter Körper, Lendenwirbelsäule, linke Hüfte, nichtdominanter Unterarm (DXA)	k. A.	
Rozen et al. (2003)	100 Mädchen, 14 ± 0,5 J	k. A.: < 800 mg/d Ca	Gesamter Körper, Lendenwirbelsäule, Oberschenkelhals (DXA)	k. A.	
Vatanparast et al. (2005)	152 (85/67), 8-20 J (PBMAS)	24-h Recall: k. A.	Gesamter Körper (TB), Lendenwirbelsäule, Femur (DXA)	Ju	k. A.
				M	Cal:TB BMC n. s.
Welten et al. (1994)	182 (84/98), 18-28 J (Amsterdam Growth and Health Study)	Cross-check Interview: k. A.	Lendenwirbelsäule (DXA)	n. s.	

Ca = Calcium, Cal = Calcium-Aufnahme, k. A. = keine Angabe, J = Jahre, Ju = Jungen, M = Mädchen, n. s. = nicht signifikant

(Quelle: eigene Darstellung)

2.2.1.2 Vitamin D

Da Vitamin D für die Regulation der Calciumhomöostase und des Phosphatstoffwechsels erforderlich ist, spielt es eine ganz besondere Rolle für die Knochengesundheit: Die biologisch aktive Form 1,25-Dihydroxyvitamin D trägt zur Calciumaufnahme aus dem Darm bei, steigert die Phosphatabsorption aus dem Darm und verringert die Synthese und Freisetzung von Parathormon, welches ebenfalls an der Calciumhomöostase beteiligt ist (Abrams 2002, Morris und Anderson 2010). Zu beachten ist, dass der menschliche Organismus Vitamin D mithilfe von UVB-Licht selbst synthetisieren kann.

Die DGE (2013b) empfiehlt für alle Personen ab einem Jahr eine tägliche Aufnahme von 20 µg Vitamin D bei fehlender endogener Synthese. Um eine ausreichende Versorgung mit Vitamin D sicherzustellen, müssen zusätzlich zur Aufnahme über die Ernährung die endogene Synthese und/oder die Einnahme von Vitamin D-Präparaten erfolgen. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass bei häufiger Sonnenbestrahlung die gewünschte Versorgung auch ohne die Einnahme eines Vitamin D-Supplements erreicht werden kann. Bei ausreichender UVB-Exposition werden etwa 10 bis 20 % des Vitamin D über die Nahrung zugeführt (DGE 2013b, Wabitsch et al. 2011).

Bei Säuglingen reicht die Versorgung mit Vitamin D über die Muttermilch nicht aus, da diese zu geringe Vitamin D-Gehalte aufweist. Es wird angeraten, kontinuierlich ein Vitamin D-Präparat im ersten Lebensjahr zu geben (DGE 2013b, Wabitsch et al. 2011).

Hauptquellen für Vitamin D in der Nahrung sind Fettfische wie Hering und Makrele, Leber, Eigelb, einige Speisepilze und Margarine, wenn diese mit Vitamin D angereichert wurde (DGE 2013b).

Ebenso wie die Milch und Milchprodukte zählt auch Fisch zu den mäßig zu verzehrenden Lebensmitteln. Laut FKE sollte einmal in der Woche Fisch gegessen werden. In Tabelle 2-5 sind die empfohlenen Verzehrmenngen für Fisch unter Berücksichtigung des Energiebedarfs für die 10- bis 18-jährigen Jungen und Mädchen dargestellt (Alexy et al. 2008, FKE 2008).

Tabelle 2-5: Empfohlene Zufuhr von Fisch

Alter	Fisch [g/Woche]	
	Jungen	Mädchen
10 bis 12 Jahre	90	
13 bis 14 Jahre	100	
15 bis 18 Jahre		

(Quelle: Alexy et al. 2008, FKE 2008)

Die meisten Jungen und Mädchen der KiGGS-Studie essen 1- bis 3-mal im Monat Fisch. Nur etwa 26 % der Jungen und 23 % der Mädchen erreichen die Empfehlung, mindestens einmal in der Woche Fisch zu verzehren. Mit dem Alter nehmen die Verzehrhäufigkeiten sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen ab (Mensink et al. 2007a).

Die Ergebnisse aus EsKiMo zeigen ein vergleichbares Bild: Die mediane Zufuhr von Vitamin D durch Lebensmittel ist sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen weit unterhalb des Referenzwertes. Im Mittel verzehren die 6- bis 11-jährigen Jungen und Mädchen 84 g bzw. 77 g pro Woche Fisch. Bei den Jugendlichen erreichen nur 28 % der Jungen und 21 % der Mädchen die empfohlene Fischverzehrmenge. Fast ein Fünftel der Jungen und ein Fünftel der Mädchen essen gar keinen Fisch. Die 12- bis 17-jährigen Jungen und Mädchen verzehren im Median 49 g bzw. 35 g Fisch in der Woche (Mensink et al. 2007b).

Bisher ist nicht klar, wie sich der Vitamin D-Status auf den Aufbau der Knochenmasse bei Jugendlichen auswirkt (Breen et al. 2011, Tylavsky et al. 2005). Zudem sind die Ergebnisse aus den bisherigen wenigen Studien nicht eindeutig (Weaver 2007, Willett 2005).

Allerdings verursacht ein Mangel an Vitamin D im jüngeren Kindesalter Rachitis (mangelhafte Mineralisierung des Knochens, Deformierungen des Skeletts sowie Wachstumsverzögerungen). Eine unzureichende Vitamin D-Versorgung sowie eine geringe Calciumaufnahme im Erwachsenenalter tragen zur Entstehung von Osteomalazie (Demineralisierung des Knochens) bei (Abrams 2002, Morris und Anderson 2010).

Es gibt Studien, die beobachtet haben, dass eine hohe Vitamin D-Aufnahme bzw. ein hoher Vitamin D-Spiegel im Blut mit einer größeren Knochenmineraldichte bei Kindern und Jugendlichen assoziiert sind (Cashman et al. 2008, Cheng et al. 2003, Lehtonen-Veromaa et al. 2002). Auch Du et al. (2004), El-Hajj Fuleihan et al. (2006) und Viljakainen et al. (2006) konnten in ihren Interventionsstudien zeigen, dass die positiven Effekte von Vitamin D auf die Knochenmasse bei den Kindern zu beobachten war, die eine gute Compliance hatten.

Bei El-Hajj Fuleihan et al. (2006) konnten zu Studienbeginn schwach positive Korrelationen zwischen den 25-Hydroxyvitamin D-Konzentrationen und der Knochenmasse an verschiedenen Skelettarealen bei Mädchen gefunden werden.

Auf der anderen Seite gibt es Studien, die keine Zusammenhänge zwischen 25-Hydroxyvitamin D-Konzentrationen und der Knochenmineraldichte bzw. Markern für den Knochenaufbau oder -umbau bei Kindern und Jugendlichen beobachten konnten (El-Hajj Fuleihan et al. 2001, Fares et al. 2003, Ginty et al. 2004, Kristinsson et al. 1998, Oliveri et al. 2000, Outila et al. 2001). Dies wird durch einige wenige Interventionsstudien bestätigt (Ala-Houhala et al. 1988, Andersen et al. 2008, Cheng et al. 2005).

In einer Cochrane-Analyse, bei der sechs randomisierte, kontrollierte Interventionen mit Vitamin D-Supplementen bei Kindern und Jugendlichen berücksichtigt wurden, konnten keine statistisch signifikanten Effekte auf den Knochenmineralgehalt oder die Knochenmineraldichte an verschiedenen Stellen des Körpers gefunden werden. Allerdings wurde ein marginaler Effekt auf die BMD der Lendenwirbelsäule gesehen. Auch die Serumspiegel von Vitamin D scheinen keinen Einfluss zu haben, aber Kinder mit niedrigen Spiegeln scheinen von der Supplementation bezogen auf die Knochengesundheit zu profitieren (Winzenberg et al. 2010).

In Tabelle 2-6 (S. 28) sind die Studien aufgeführt, die Zusammenhänge zwischen Vitamin D und der Knochengesundheit bei Kindern und Jugendlichen untersucht haben.

Tabelle 2-6: Zusammenhang zwischen Vitamin D und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Erfassung Ernährung: durchschnittn. Nährstoffaufnahme; Serumkonzentration	Messorte (Messart)	Korrelationskoeffizient r		
Cashman et al. (2008)	1015 (499/516), 12 u 15 J (YH2000)	k. A.: 1,42-2,05 µg/d Vit D; 57,6-63,6 nmol/L 25(OH)D	Nicht-dominanter Unterarm, dominante Ferse (DXA)	Ju	12 J	n. s.
					15 J	n. s.
				M	12 J	k. A.
					15 J	k. A.
Cheng et al. (2003)	193 Mädchen, 10-12 J	3-Tage-Ernährungstagebuch: 2,6-2,8 µg/d Vit D	Gesamter Körper, Femur, Lendenwirbelsäule (DXA)	DXA		n. s.
			Radius, Tibia (pQCT)	pQCT		25(OH)D:r vBMDcort r = 0,294
El-Hajj Fuleihan et al. (2006)	179 Mädchen, 10-17 J	FFQ: 672-6,86 mg/d; 14 ng/mL S-25(OH)D	Lendenwirbelsäule (LS), Hüfte (FN), Unterarm (RA)	25(OH)D:LS BMDr = 0,16 25(OH)D:FN BMD r = 0,17 25(OH)D:Ra BMD r = 0,24		
Kristinsson et al. (1998)	295 Mädchen, 16, 18 und 20 J	Validierter semiquantitativer FFQ: 7,5-9,7 µg/d Vit D; 41,4-45,8 nmol/L 25(OH)D	Lendenwirbelsäule, linker Femur, dominanter Unterarm, gesamter Körper (DXA)	M 16 J	25(OH)D:Arm BMC r = 0,30 25(OH)D:Arm BMD r = 0,27	
				Alle	n. s.	
Lehtonen-Veromaa et al. (2002)	171 Mädchen, 9-15 J	Semiquantitativer FFQ:4,3 µg/d Vit D	Lendenwirbelsäule (LS), nicht-dominante Hüfte (FN) (DXA)	25(OH)D:LS ΔBMD r = 0,35 25(OH)D:FN ΔBMD r = 0,32 25(OH)D:LS ΔBMAD r = 0,35 25(OH)D:FN ΔBMAD r = 0,24		
Outila et al. (2001)	175 Mädchen, 14-16 J	FFQ: 4,3 µg/d Vit D, 39 nmol/L 25(OH)D	Unterarm (DXA)	n. s.		

25(OH)D = 25-Hydroxy Vitamin D, J = Jahre, k. A. = keine Angabe, M = Mädchen, n. s. = nicht signifikant, Vit D = Vitamin D

(Quelle: eigene Darstellung)

2.2.1.3 Phosphor

Mehr als 85 % des Phosphors ist in den Knochen und Zähnen enthalten. Zudem ist es ein wichtiger Bestandteil des Calciumhydroxylapatits (Bergman et al. 2009). Kinder und Jugendliche, die sich im Wachstum befinden, sollten deswegen eine positive Phosphorbilanz haben (Matkovic et al. 2004a S. 190). Da in fast allen Lebensmitteln Phosphor enthalten ist, ist eine unzureichende Versorgung mit Phosphor nicht möglich.

Die DGE (2001) empfiehlt eine tägliche Aufnahme von 1250 mg Phosphor für die zehn- bis unter 19-jährigen Kinder und Jugendlichen. Der Bedarf an Phosphor ist aufgrund der Gewebsturnover und des Knochenwachstums in der Pubertät erhöht (DGE 2001).

Laut EsKiMo sind die Hauptquellen für Phosphor bei den 6- bis 17-jährigen Jungen und Mädchen Milchprodukte und Brot. Bei den 12- bis 17-jährigen Mädchen zählen noch Käse und Quark zu den Hauptquellen (Mensink et al. 2007b).

In Tabelle 2-7 sind unter Berücksichtigung der Energiezufuhr die Empfehlungen des FKE für den täglichen Brotkonsum dargestellt. Brot zählt zu den reichlich zu verzehrenden Lebensmitteln (Alexy et al. 2008, FKE 2008). Die DGE empfiehlt, mehrmals täglich Getreideprodukte zu essen (DGE 2013c).

Tabelle 2-7: Empfohlene Zufuhr von Brot und Getreide(flocken)

Alter	Brot, Getreide(flocken) [g/Tag]	
	Jungen	Mädchen
10 bis 12 Jahre	250	
13 bis 14 Jahre	300	250
15 bis 18 Jahre	350	280

(Quelle: Alexy et al. 2008, FKE 2008)

Über alle drei Altersklassen (7 bis 10 Jahre, 11 bis 13 Jahre, 14 bis 17 Jahre) hinweg erreichen etwa 15 % bzw. 21 % der Jungen die Empfehlung, mehrmals täglich Brot, das heißt Vollkornbrot bzw. Weißbrot, zu verzehren. Bei den Mädchen sind das etwa 16 % bzw. 17 %, die mehrmals täglich Vollkornbrot bzw. Weißbrot essen. Der Anteil der Jungen und Mädchen, die täglich einmal Brot essen, ist nur knapp größer. Zudem wurde bei KiGGS beobachtet, dass es bezüglich des Alters keine großen Unterschiede beim Verzehr von Vollkorn- und Weißbrot gibt (Mensink et al. 2007a).

Bei EsKiMo konnte gezeigt werden, dass die Referenzwerte für die Phosphorzufuhr mit Ausnahme der 10- bis 11-jährigen Kinder im Median von allen Alters- und Geschlechtsgruppen überschritten werden. Mit steigendem Alter nimmt die Phosphorzufuhr zu.

Bei den Kindern und Jugendlichen werden die Empfehlungen für den Verzehr der kohlenhydratreichen Lebensmittel weit unterschritten und somit nicht erreicht. Brot macht dabei die anteilmäßig bedeutendste Lebensmittelgruppe aus (Mensink et al. 2007b).

Bisher sind keine Supplementationsstudien mit Phosphor bei Kindern und Jugendlichen in der Literatur beschrieben worden. Deswegen werden kurz Ergebnisse von Studien vorgestellt, die mit Erwachsenen durchgeführt wurden: Eine hohe Zufuhr von Phosphor bewirkt bei Erwachsenen einen Anstieg von Parathormon im Serum (Silverberg et al. 1986), wenn die Calciumzufuhr niedrig ist (Calvo et al. 1988, Calvo et al. 1990, Kemi et al. 2010, Whybro et al. 1998). Bei einigen Studien konnte gezeigt werden, dass der Knochenumbau, gekennzeichnet durch höhere Konzentrationen verschiedener Marker, erhöht war (Calvo et al. 1988, Silverberg et al. 1986) und z. T. Effekte auf die Knochenresorption erkennbar waren. Im Gegensatz dazu gibt es Studien, bei denen sich weder die Calciumbilanz ändert, noch die Knochenabbauprozesse erhöht werden (Fenton et al. 2009, Spencer et al. 1988, Whybro et al. 1998, Zemel und Linkswiler 1981).

Die hohe Aufnahme von Phosphat aus kohlenensäurehaltigen Softdrinks ist, bezogen auf die Knochengesundheit, als kritisch zu betrachten: Ein hoher Verzehr dieser Getränke scheint das Frakturrisiko bei Jugendlichen zu erhöhen (Heaney et al. 2000).

Aufgrund der schlechten Studienlage kann nicht endgültig beurteilt werden, ob eine hohe Phosphorzufuhr einen Effekt auf das Skelett hat.

2.2.1.4 Protein

Nahrungsprotein versorgt den Organismus mit den nötigen Aminosäuren, die für die Bildung der Knochenmatrix sowie für IGF-1 (*Insulin-like growth factor 1*) benötigt werden (Rizzoli et al. 2010 S. 2) und somit für den Aufbau der Knochenmasse mitverantwortlich sind (Bonjour et al. 2003 S. 121).

Der Bedarf von Protein bei Kindern und Jugendlichen setzt sich aus der Erhaltungs- und der Wachstumskomponente zusammen. Der Bedarf für das Wachstum sinkt altersabhängig (DGE 2001).

Empfohlen wird bei Jungen und Mädchen im Alter von 10 bis unter 19 Jahre eine tägliche Proteinzufuhr von 34 g bis 60 g bzw. 35 g bis 46 g (DGE 2001).

Daten aus EsKiMo ergaben, dass Protein hauptsächlich über Milchprodukte, Brot, Fleisch und Wurstwaren bei den Kindern und Jugendlichen aufgenommen wird (Mensink et al. 2007b).

Das FKE (Alexy et al. 2008, FKE 2008) empfiehlt, Fleisch und Wurst nur mäßig zu verzehren. In Tabelle 2-8 sind die Empfehlungen für die zehn- bis 18-Jährigen dargestellt.

Tabelle 2-8: Empfohlene Zufuhr von Fleisch und Wurst

Alter	Fleisch und Wurst [g/Tag]	
	Jungen	Mädchen
10 bis 12 Jahre	60	
13 bis 14 Jahre	75	65
15 bis 18 Jahre	85	75

(Quelle: Alexy et al. 2008, FKE 2008)

Die Mehrheit der Jungen (73 %) und Mädchen (67 %) verzehrt 1- bis 6-mal in der Woche Fleisch. Dies entspricht weitgehend den Empfehlungen des FKE (Alexy et al. 2008, FKE 2008) und der DGE (2013c). Demgegenüber steht ein relativ großer Anteil von Kindern und Jugendlichen, die täglich einmal oder mehrmals Wurst (ca. 40 % der Jungen und 32 % der Mädchen) konsumieren (Mensink et al. 2007a).

Die Proteinzufuhr laut EsKiMo liegt bei den Jungen und Mädchen aller Altersklassen deutlich über den DACH-Referenzwerten. Insbesondere die 6- bis 11-jährigen Jungen erreichen im Median über 200 % des Referenzwertes für Protein. Die 12- bis 17-jährigen Mädchen kommen den Empfehlungen im Median am nächsten.

Auch bei Fleisch, Fleischwaren und Wurst werden die Empfehlungen von den meisten Jungen und Mädchen überschritten. Vor allem ein großer Anteil der Jungen liegt über den Empfehlungen im Vergleich zu den Mädchen: Dies betrifft 72 % der 6- bis 11-jährigen und 86 % der 12- bis 17-jährigen Jungen (Mensink et al. 2007b).

Auch bei Protein sind bisher keine Supplementationsstudien bei Kindern und Jugendlichen in der Literatur beschrieben worden. Was aber bisher gezeigt werden konnte, ist, dass eine unzureichende Zufuhr an Protein in der Kindheit zu Wachstumsverzögerungen und einer geringen Knochenmasse führen kann. Dies ist bei unterernährten Kindern beobachtet worden (Bonjour et al. 2003 S. 121).

Weiterhin gilt es zu bedenken, dass es bisher keinen direkten experimentellen Nachweis darüber gibt, ob eine Proteinzufuhr über die empfohlene Menge hinaus eine schädigende Wirkung auf den menschlichen Organismus hat.

Allerdings konnten negative physiologische Effekte durch eine überhöhte Proteinzufuhr gezeigt werden: Bezogen auf die Knochengesundheit ist beschrieben worden, dass bei Erwachsenen eine hohe Proteinzufuhr zu einer erhöhten Ausscheidung von Calcium über den Urin führt (Itoh et al. 1998, Massey 2003, Zemel 1988). Dies kann sich negativ auf die Calciumbilanz und Knochengesundheit bzw. das Risiko für Frakturen oder Verlust an Knochenmasse auswirken (Barzel und Massey 1998, Feskanich et al. 1996), muss aber nicht (Bonjour 2005).

Ob diese Effekte so auch bei Kindern und Jugendlichen auftreten, konnte noch nicht hinreichend bestätigt werden (Duff und Whiting 1998 Heaney et al. 2000).

Es gibt einige Studien bei Erwachsenen, die zeigen, dass es einen positiven Zusammenhang zwischen der Proteinaufnahme und einem höheren Knochenmineralgehalt oder einem verringerten Frakturrisiko gibt (Cooper et al. 1996, Hannan et al. 2000, Munger et al. 1999).

Alexy et al. (2005) konnten in ihrer Untersuchung bei 229 gesunden Kindern und Jugendlichen im Alter von sechs bis 18 Jahren zeigen, dass eine Aufnahme von Protein einen positiven Effekt auf die Knochenstabilität im Unterarm während des Wachstums hat, aber nur, wenn es eine adäquate Zufuhr von basenbildenden Nährstoffen wie Kalium und Magnesium aus Obst und Gemüse gibt. Auch bei jungen Frauen hat die Proteinzufuhr einen positiven Effekt auf die Knochenmasse bei einer ausreichenden Calciumaufnahme (Vatanparast et al. 2007).

Beasley et al. (2010) konnten zeigen, dass 560 Frauen im Alter von 14 bis 40 Jahren mit einer hohen Proteinaufnahme keine niedrigere Knochenmineraldichte aufweisen als Frauen mit einer niedrigen Proteinzufuhr.

Protein kann einerseits günstige, andererseits nachteilige Effekte auf die Knochengesundheit haben: Dies ist abhängig von einer Vielzahl verschiedener Faktoren wie die Höhe des Proteins in der Ernährung, die Proteinquelle (tierisch oder pflanzlich), die Calciumaufnahme und der Säure-Basen-Haushalt der Ernährung (Dawson-Hughes und Harris 2002, Fenton et al. 2011, Heaney und Layman 2008, Sahni et al. 2010).

Ein Überblick über die Studien, bei denen die Zusammenhänge zwischen der Proteinzufuhr und der Knochenmasse im Kindes- und Jugendalter untersucht wurden, ist in Tabelle 2-9 (S. 33) dargestellt.

Tabelle 2-9: Zusammenhang zwischen Protein und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Erfassung Ernährung: durchschnittliche Nährstoffaufnahme	Messorte (Messart)	Korrelationskoeffizient r	
Alexy et al. (2005)	229 (115/114), 6-18 J (DONALD)	3-Tage-Wiegeprotokoll: 43-69 g/d Protein (P)	Nicht-dominanter Unterarm (pQCT)	P:PC r = 0,17 P:CA r = 0,20 P:BMC r = 0,17 P:PSSI = r = 0,24	
Beasley et al. (2010)	174 Mädchen, 14-18 J (560 Frauen, 14-40 J)	FFQ: 33-59 g/d tierisches Protein (P); 19-20 g/d pflanzliches Protein	Hüfte, Lendenwirbelsäule, gesamter Körper (DXA)	k. A.	
Vatanparast et al. (2007)	133 (59/74), 17-29 J (PBMAS)	24-h Recall: 64-119 g/d Protein (P)	Gesamter Körper (TB) (DXA)	jE	P:TB BMC n. s. P:TB BMC net gain R = 0,46 P:TB BMD n. s.
				M*	P:TB BMC R = 0,57 P:TB BMC net gain R = 0,61 P:TB BMD R = 0,58

DONALD = Dortmund nutritional and anthropometric longitudinally designed study, J = Jahre, jE = junge Erwachsene, k. A. = keine Angabe, M = Mädchen, PBMAS = The University of Saskatchewan pediatric bone mineral accrual study, PC = periostal circumference [mm], CA = Kortikalesfläche (cortical area) [mm²], PSSI = polar strength strain index [mm³]

(Quelle: eigene Darstellung)

2.2.2 Körperliche Aktivität

Jede Art von körperlicher Aktivität wie Gehen, Rennen oder Springen, übt Kraft auf das Skelett, auf einzelne Knochen und auf Zellen aus (Khan 2001 S. 11).

Ende des 19. Jahrhunderts hat Julius Wolff eine Theorie (das Wolff'sche Gesetz) entwickelt, in der die Fähigkeit des Knochens, sich an physische Kräfte anzupassen, beschrieben wird: Bei Belastung wird Knochen aufgebaut und die Festigkeit des Knochens nimmt zu, bei geringer oder keiner Belastung wird Knochen abgebaut.

Dieses Konzept wurde von Frost und Lanyon weiterentwickelt, bei dem ein „Mechanostat“ diesen Prozess kontrolliert: Das bedeutet, dass das Knochenwachstum und der Knochenabbau durch eine optimale Belastung des Knochens bestimmt werden und somit Anpassungen des Knochens an veränderte mechanische Bedingungen bzw. Kräfte möglich sind, indem die Form und Festigkeit des Knochens verändert wird (Frost 1987, Lanyon et al. 1982).

Eine Entlastung des Knochens beispielsweise durch Bettlägerigkeit oder Weltraumflüge bzw. Inaktivität führt zu einer Verminderung der Muskeln und zu einem Verlust an Knochenmasse und Festigkeit (*disuse*). Belastungen im mittleren Bereich tragen zur Erhaltung der Knochenfestigkeit bei (*adapted state*). Hohe Belastungen hingegen wirken sich positiv auf die Knochenmasse aus (*overload*). Ist die Belastung aber zu hoch, können Frakturen auftreten (*fracture*) (Frost 1987, Frost 1995, Khan 2001 S. 27ff, Lanyon 1987, Schoenau und Fricke 2008, Turner 1991).

Kräfte, die auf den Knochen wirken, können zum einen durch die Schwerkraft an sich, die Kontraktion der Muskeln und andere äußere Kräfte wie Zugkraft, Druckbelastung, Scherspannung, Biegespannung und Drehung entstehen (Khan 2001 S. 31).

In Tabelle 2-10 (S. 35) sind die Empfehlungen der WHO (2010 S. 20) zur körperlichen Aktivität für die fünf- bis 17-jährigen Kinder und Jugendlichen dargestellt. Regelmäßige körperliche Aktivität unter Einhaltung oder Überschreitung der Empfehlung wirkt sich positiv auf verschiedene Gesundheitsparameter wie kardiorespiratorische Erkrankungen, Stoffwechselerkrankungen, Krebs und Depression aus. Körperliche Aktivität hat einen positiven Effekt auf den Stütz- und Bewegungsapparat (Muskel und Skelett) und kann Stürzen vorbeugen. Zur körperlichen Aktivität zählt freies Spielen, Sport treiben, Nutzung von Verkehrsmitteln, Entspannung, Teilnahme am Sportunterricht oder geplantes Trainieren im Kreis der Familie, in der Schule und in der Gemeinde. Die WHO empfiehlt speziell für die Knochengesundheit Aktivitäten wie Laufen, Drehungen oder Springen.

Tabelle 2-10: Empfehlung zur körperlichen Aktivität

Alter	Körperliche Aktivität [min/Tag]	
	Jungen	Mädchen
5-17 Jahre	Mindestens 60 min/d, moderate bis intensive/sehr rege Intensität	
	Mehr als 60 min/d liefern zusätzliche gesundheitliche Vorteile/Nutzen	
	Meiste Aktivität sollte aerob sein. Aktivitäten mit einer intensiven Intensität sollten beinhaltet sein sowie weitere Aktivitäten, die Knochen und Muskel stärken, mindestens 3-mal pro Woche.	

(Quelle: WHO 2010 S. 20)

Laut KiGGS treiben 84,8 % der sieben- bis zehnjährigen Jungen und 79 % der gleichaltrigen Mädchen mindestens einmal in der Woche Sport. Bei den Jugendlichen betrifft das 89,9 % der Jungen und 78,5 % der Mädchen. Nur 52,9 % der Jungen und 41,7 % der Mädchen dieser Altersgruppe sind 3-mal in der Woche oder mehr körperlich aktiv und erreichen somit die empfohlene Mindestanforderung (Pate et al. 1995) an ein gesundheitsförderliches Bewegungsverhalten. Im Gegensatz dazu sind das bei den 11- bis 17-jährigen Jungen und Mädchen 64,7 % bzw. 43,7 %. Zu beachten ist, dass die körperliche Aktivität im Laufe der Adoleszenz weiter abnimmt. 6,9 % bzw. 10,6 % der 7- bis 10-jährigen Jungen und Mädchen machen nie Sport. Bei den Jugendlichen sind das 10,1 % der Jungen und 21,5 % der Mädchen. Der wöchentliche Stundenumfang für die körperlich-sportliche Aktivität bei den Jugendlichen beträgt 7,8 Stunden bei den Jungen bzw. 4,5 Stunden bei den Mädchen (Lampert et al. 2007a).

Von den 11- bis 17-Jährigen sehen 95,9 % täglich fern oder Videos bzw. DVDs, nutzen 76 % täglich den Computer und das Internet und 33,5 % die Spielkonsole. Außer beim Fernsehen ergeben sich teilweise große Alters- und Geschlechtsunterschiede bei diesen Aktivitäten. Der Fernsehkonsum ist bei den Jungen und Mädchen in beiden Altersgruppen (11 bis 13 Jahre und 14 bis 17 Jahre) ähnlich hoch. Die Jungen nutzen aber den Computer/Internet und die Spielkonsole stärker als die Mädchen, ebenso wie die älteren Jugendlichen bei beiden Geschlechtern. Die Jungen dieser Altersgruppe verbringen durchschnittlich 3,8 Stunden und die gleichaltrigen Mädchen 2,7 Stunden täglich mit Fernsehen/Video, Computer/Internet und Spielkonsole.

Zudem wurde untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen der Mediennutzung und der körperlichen Aktivität gibt: Bei Jungen und Mädchen konnte beobachtet werden, dass eine Mediennutzung ab 6 bzw. 5 Stunden täglich mit einer körperlich-sportlichen Inaktivität einhergeht (Lampert et al. 2007b).

In der Literatur werden positive Zusammenhänge zwischen der körperlichen Aktivität und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen beschrieben (Bailey et al. 1999, Bass et al. 1998, Farr et al. 2010, Gracia-Marco et al. 2012a, Haapasalo et al. 1998, Lehtonen-Veromaa et al. 2000b, Welten et al. 1994). Bei Rideout et al. (2006) konnte gezeigt werden, dass bei 78 postmenopausalen Frauen im Alter von 47-75 Jahren eine moderate körperliche Aktivität in der Pubertät einen positiven nachhaltigen Nutzen auf die Knochenmasse der Lendenwirbelsäule und des Femurs hat. Auch bei 2384 jungen Männern konnte gezeigt werden, dass die körperliche Aktivität in der Kindheit und Jugend eine signifikante Determinante der Knochenmasse am Calcaneus ist (Pettersson et al. 2010).

Eine adäquate mechanische Belastung z. B. durch verschiedene körperliche Aktivitäten kann das Skelett in seiner Masse, Geometrie und Festigkeit während der Wachstumsphase modifizieren (Bass et al. 1998, Haapasalo et al. 1998, MacKelvie et al. 2002, Ondrak und Morgan 2007).

Einige Interventionsstudien konnten zeigen, dass sich die körperliche Aktivität positiv auf die Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen auswirkt (Bradney et al. 1998, Heinonen et al. 2000, Kontulainen et al. 2002, MacKelvie et al. 2001, MacKelvie et al. 2004, McKay et al. 2005, McKay et al. 2000, Nichols et al. 2001, Petit et al. 2002, Stear et al. 2003). Im Gegensatz dazu konnten sowohl Blimkie et al. (1996) als auch Witzke und Snow (2000) keine signifikanten Veränderungen der Knochenmasse nach einem 26 Wochen-Training bei Mädchen im Vergleich zur Kontrollgruppe finden.

Janssen und Leblanc (2010) konnten in ihrem systematischen Review, in dem der Gesundheitsnutzen durch körperliche Aktivität bei Schulkindern untersucht wurde, bezogen auf die Knochenmasse zeigen, dass moderate bis stark belastende Aktivitäten an zwei bis drei Tagen in der Woche einen moderaten Effekt auf die Knochenmineraldichte haben. Zu beachten ist allerdings, dass die berücksichtigten Studien diverse Schwächen beispielsweise hinsichtlich des Stichprobenumfangs, der Repräsentativität und des Studientyps aufweisen.

Studien, die Langzeiteffekte der körperlichen Aktivität auf die Entwicklung der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen untersucht haben, zeigen, dass regelmäßige körperliche Aktivität sowie stoßartige Belastungen sich positiv und nachhaltig auf die Knochenmasse auswirken (Bailey et al. 1999, Baxter-Jones et al. 2008, Forwood et al. 2006, Nurmi-Lawton et al. 2004, Welten et al. 1994).

Eine Übersicht der Studien, die die Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und der körperlichen Aktivität untersucht haben, ist in Tabelle 2-11 (S. 37) dargestellt.

Tabelle 2-11: Zusammenhang zwischen der körperlichen Aktivität und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Erfassung der PA: Höhe der PA	Messorte (Messart)	Korrelationskoeffizient r	
Bailey et al. (1999)	113 (60/53), 12-14 J	PAQ-C (Physical Activity Questionnaire for Children)	Gesamter Körper (TB), Lendenwirbelsäule (LS), Oberschenkelhals (FN) (DXA)	Ju	PA:peak TB BM accrual r = 0,39 PA:BMC r = 0,40 PA:FN PBMCV k. A. PA:LS PBMCV k. A.
				M	PA:peak TB BM accrual r = 0,41 PA:PBMCV r = 0,38 PA:LS PBMCV r = 0,47
Bass et al. (1998)	80 Mädchen, 9-10 J	k. A.: Ak: 15-36 h/Woche K: 1,7 ± 0,3 h/Woche	Gesamter Körper (DXA)	Tr_h:Arm BMD-Z r = 0,48 Tr_h:Bein BMD-Z r = 0,45 Tr_h:LS BMD-Z r = 0,32 Tr_h:Schädel BMD-Z r = 0,40	
Baxter-Jones et al. (2008)	154 (72/82), 8-15 J → 23-30 J (PBMAS)	PAQ-C, PAQ-A, PAQ-AD	Gesamter Körper, Lendenwirbelsäule, Hüfte, Oberschenkelhals (DXA)	k. A.	
Farr et al. (2010)	396 Mädchen, 8-13 J	PYPAQ (past year physical activity questionnaire)	Femur (F), Tibia (T) (pQCT)	n. s.	
Forwood et al. (2006)	230 (109/121), 8-15J (PBMAS)	PAQ-C	Gesamter Körper, proximaler Femur, (DXA), Hüftfraktur-Analyse (CT)	k. A.	

Autor	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Erfassung der PA: Höhe der PA	Messorte (Messart)	Korrelationskoeffizient r	
Gracia-Marco et al. (2012a)	322 (164/158), 12-17 J (HELENA)	Akzelerometrie (counts/Min)	Gesamter Körper (TB), Hüfte (H), Lendenwirbelsäule (DXA)	PA:TB BMC r = 0,14 PA:H BMC r = 0,29	
Haapasalo et al. (1998)	149 Mädchen, 7-17 J	Training History	Humerus, Radius (R), Lendenwirbelsäule (DXA)	T I	n. s.
				T II	n. s.
				T III	Tr_h:PH BMD r = 0,50 Tr_h:HS BMD r = 0,63 Tr_h:R BMD r = 0,61 Tr_s:PH BMD r = 0,55 Tr_s:HS BMD r = 0,77 Tr_s:R BMD r = 0,66
				T IV	Tr_h:HS BMD r = 0,70
				T V	Tr_h:HS BMD r = 0,52 Tr_h:R BMD r = 0,61 Tr_s:PH BMD r = 0,80 Tr_s:HS BMD r = 0,61 Tr_s:R BMD r = 0,67
Kontulainen et al. (2002)	99 finnische Mädchen, 12,5 ± 1,5 J	k. A.	Lendenwirbelsäule, rechter Femur (FN), Trochanter (T) (DXA)	PA_I:FN BMC n. s. PA_I:T BMC n. s.	
Lehtonen-Veromaa et al. (2000a)	184 gesunde kaukasische Mädchen, 11-17 J	Fragebogen	Nichtdominanter Oberschenkelhals (FN), Lendenwirbelsäule (LS) (DXA)	Prä	MET:FN BMD r = 0,407 MET:LS BMD n. s.
			Calcaneus (QUS)	Pub	MET:FN BMD r = 0,348 MET:LS BMD r = 0,271
Nurmi-Lawton et al. (2004)	97 Mädchen, 8-17 J	Interview, 3-Tage-Bewegungstagebuch, 7-Tage-Bewegungstagebuch: T: > 10 h/Wo K: 5,6 ± 2,6 h/Wo	Lendenwirbelsäule, Gesamter Körper (DXA)	k. A.	
			Calcaneus (QUS)		

Autor	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Erfassung der PA: Höhe der PA	Messorte (Messart)	Korrelationskoeffizient r	
Pettersson et al. (2010)	2384 Männer, 17-19 J	Trainingsgewohnheiten	Calcaneus (DXA)	H_rPA:BMD $R^2 = 10,1 \%$ OGI:BMD $R^2 = 10,3 \%$	
Rideout et al. (2006)	78 postmenopausale Frauen, 45-75 J (retrospektive Befragung)	HLAQ-Interview: 12-18 J: 5,1 h/Wo	Lendenwirbelsäule (LS), proximaler Femur (PF) (DXA)	12-18 J	TA:LS aBMD $r = 0,31$ TA:LS BMC $r = 0,30$ TA:PF aBMD $r = 0,33$ TA:PF BMC $r = 0,33$ WBPA:LS aBMD $r = 0,30$ WBPA:PF aBMD $r = 0,29$ <hr/> WBPA:LS aBMD $R = 0,332$ PA:PF aBMD $R = 0,326$
Welten et al. (1994)	182 (84/98), 18-28 J (Amsterdam Growth and Health Study)	Cross-check Interview	Lendenwirbelsäule (DXA)	Ju	13-17 J WBPA:BMD $R^2 = 0,158$
					13-21 J WBPA:BMD $R^2 = 0,167$
					13-27 J WBPA:BMD k. A.
				M	n. s

(Quelle: eigene Darstellung)

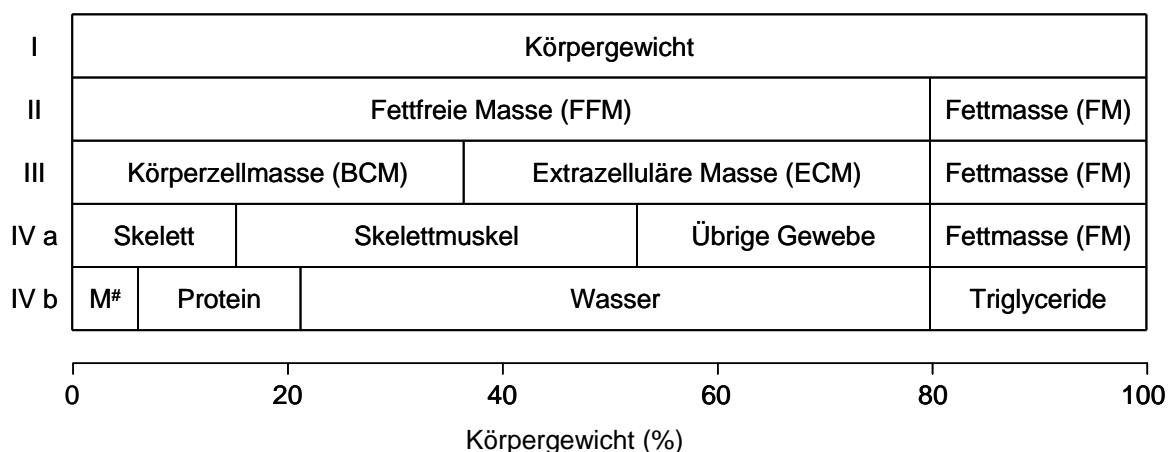
2.2.3 Körperzusammensetzung und Körpergewicht

Die Körperzusammensetzung und daraus resultierend der Einfluss der verschiedenen Kompartimente auf das menschliche Skelett scheinen eine wichtige Determinante des Knochenaufbaus und der -erhaltung zu sein (Dawson-Hughes et al. 1987, Edelstein und Barrett-Connor 1993, Glauber et al. 1995). Die fettfreie Masse wird als Surrogat für die Muskelmasse angesehen. In Kapitel 2.2.2 (S. 34) ist dieser Zusammenhang bereits beschrieben. Der Einfluss der Fettmasse auf die Knochenmasse könnte durch Hormone aus den β -Zellen des Pankreas und aus dem Fettgewebe selbst wie beispielsweise Leptin und Estrogene ausgeübt werden sowie durch das Weichteilgewebe, das Reize bzw. Belastungen auf den Knochen ausüben kann (Ahima 2006, Holecki und Wiecek 2010, Reid 2008).

Aber auch das Körpergewicht per se spielt eine Rolle: Ein höheres Gewicht übt größere Belastungen auf die Knochen aus.

Zur Untersuchung der Körperzusammensetzung existieren mehrere Modelle, in denen der Körper auf chemischer, anatomischer oder funktioneller Ebene betrachtet werden kann (Elia 1992, Heymsfield und Waki 1991, Wang et al. 1992). Da dies jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit ist, wird hierauf nicht weiter eingegangen.

Es wird hier das 3-Kompartiment Modell vorgestellt (Vgl. Abbildung 2-1 III), da es die Grundlage für die in der vorliegenden Untersuchung eingesetzte Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung bildet. Das Körpergewicht wird in die Kompartimente Fettmasse und fettfreie Masse, die wiederum durch die Kompartimente Körperzellmasse und extrazelluläre Masse beschrieben wird, unterteilt (Fischer und Lembcke 1991, Moore et al. 1963 S. 13-169, Shizgal 1990).



M[#] = Mineralien

Abbildung 2-1: Modelle der Körperzusammensetzung

(„With permission of Springer Science+Business Media“: Ernährungsmedizinische Praxis: Methoden - Prävention - Behandlung: Methoden - Prävention – Behandlung, Manfred James Müller (author), Abb. 1.11 S. 29, © Springer Medizin Verlag Heidelberg 2007)

Die Fettmasse wird in das nichtessentielle und essentielle Fett unterteilt. Das essentielle Fett befindet sich in den Zellmembranen. Das nichtessentielle Fett beinhaltet inter- und intramuskuläres Fett sowie Körperfettspeicher unter der Haut, um Organe herum und im Gastrointestinaltrakt.

Die fettfreie Masse ² stellt das stoffwechselaktive Kompartiment des Organismus dar. Die dazu zählende Körperzellmasse ist die Summe aus den sauerstoffverbrauchenden, kaliumreichen, glucoseoxidierenden und arbeitleistenden Zellen. Die extrazelluläre Masse wird unterteilt in die extrazellulären organischen (z. B. Elastin, Kollagen) und anorganischen Bestandteile (z.B. Calciumhydroxyapatit, Bicarbonat) sowie in die extrazelluläre Flüssigkeit (Plasma, Lymphe, interstitielle Flüssigkeit). Im Vergleich zur Körperzellmasse weist die extrazelluläre Masse hauptsächlich eine Stütz- sowie eine Transportfunktion auf (Forbes 1987, Moore 1980, Wang et al. 1992, Willett 1998 S. 244-272).

Im Gegensatz zur Fettmasse weist die fettfreie Masse einen hohen Wassergehalt auf. Beim erwachsenen Menschen beträgt der relative Wassergehalt der fettfreien Masse durchschnittlich 72-74 % (Brozek et al. 1963, Elia 1992, WHO 1995a S. 6). Bei Kindern und Jugendlichen nimmt im Laufe der Entwicklung vom Säugling zum Erwachsenen der relative Wasseranteil der fettfreien Masse von über 80 % auf etwa 73 % ab (Haschke 1983, Haschke et al. 1981, Hills et al. 2001, Sopher et al. 2005 S. 129-139).

Die Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA) und die Isotopenverdünnungsmethode sind Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung, die auf dem 3-Kompartiment Modell beruhen (Fischer und Lembcke 1991).

Laut KiGGS steigt der Körperfettanteil, der mittels Hautfaltendicke gemessen und mithilfe der Formel von Slaughter et al. (1988) berechnet wurde, bis etwa zum elften Lebensjahr sowohl bei Jungen als auch bei Mädchen an. Danach fällt er bei den Jungen von etwa 20 % auf 17 % ab und bei den Mädchen steigt er weiterhin auf bis zu 27 % an (Stolzenberg et al. 2007).

Die Prävalenz von Übergewicht und Adipositas beträgt bei den 3- bis 17-jährigen Kindern und Jugendlichen der KiGGS-Studie insgesamt 15 %. Davon sind 6,3 % von Adipositas betroffen. In der Altersgruppe der 11- bis 17-Jährigen sind knapp 18 % übergewichtig und adipös (Kurth und Schaffrath Rosario 2007).

² In der Literatur werden fettfreie Masse und Magermasse (lean body mass, LBM) oft synonym verwendet. Die fettfreie Masse besteht vor allem aus Wasser, Protein und Mineralien. Die Magermasse enthält jedoch noch Strukturfett. Bei normalgewichtigen Menschen kann dieser Unterschied vernachlässigt werden, wohingegen es bei Adipösen zu großen Fehlern kommen kann (Biesalski et al. 2004 S. 9, Elmadfa 2009 S. 11).

Während der Pubertät verändern sich die Anteile der FFM und FM am Körpergewicht. Da dieser Prozess bei beiden Geschlechtern unterschiedlich verläuft (Siervogel et al. 2003), könnte die FFM zum Teil den unterschiedlichen Zuwachs an Knochenmasse in der Pubertät erklären (Macdonald et al. 2006, Rauch et al. 2004). Ob die FM ebenso einen Einfluss auf die Knochenmasse bei den Kindern und Jugendlichen hat, ist umstritten.

Studien bei Kindern und Jugendlichen konnten positive Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und der FFM sowie der FM bei Jungen und Mädchen nachweisen (Arabi et al. 2004, El Hage et al. 2011, El Hage et al. 2009b, El Hage et al. 2009a, Gordon und Webber 1993, Gracia-Marco et al. 2012b, Leonard et al. 2004, Manzoni et al. 1996, Pietrobelli et al. 2002, Sayers und Tobias 2010).

Crabtree et al. (2004), Högler et al. (2003) sowie Witzke und Snow (1999) konnten nur einen positiven Zusammenhang zwischen der FFM und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen feststellen. Wobei andere Studien positive Assoziationen zwischen der Knochenmasse und der FM feststellen konnten (Campos et al. 2012, Laddu et al. 2013, Maggio et al. 2014, Rocher et al. 2008). Diese Zusammenhänge sind zum Teil abhängig vom Pubertätsstatus und dem Geschlecht der Kinder und Jugendlichen (Csakvary et al. 2012, Fricke et al. 2008a, Fricke et al. 2008b).

Im Gegensatz dazu gibt es einige Studien, die einen negativen Effekt der Fettmasse auf die Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen (Perotti et al. 2013, Viljakainen et al. 2011) bzw. nur bei Mädchen (Farr et al. 2010, Weiler et al. 2000) nachweisen konnten. Gracia-Marco et al. (2012b) zeigten in ihrer Studie weiterhin, dass, wenn der Einfluss der Fettmasse auf die Knochenmasse zusätzlich für die fettfreie Masse adjustiert wird, sich die ehemals positive Assoziation in eine negative Beziehung bei den Jungen und Mädchen umkehrt. Viljakainen et al. (2011) und Laddu et al. (2013) konnten bei Kindern und Jugendlichen weiterhin beobachten, dass sich die Fettmasse im normalen Bereich positiv auf die Knochengesundheit auswirkt, wohingegen ein höherer abdominaler Körperfettanteil mit negativen Effekten auf das Skelett einhergeht.

Studien, die Zusammenhänge zwischen dem Körpergewicht und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen untersucht haben, berichten widersprüchliche Ergebnisse. Einige Studien zeigen, dass Übergewicht und Adipositas einen positiven Einfluss auf den Knochenmineralgehalt und die Knochendichte haben (Ellis et al. 2003, Gracia-Marco et al. 2012b, Ivuskans et al. 2013, Leonard et al. 2004, Maggio et al. 2014). In anderen Studien sind keine Unterschiede zwischen Normal- und Übergewichtigen zu finden (de Schepper et al. 1995, El Hage et al. 2011, El Hage et al. 2009b, El Hage et al. 2009a).

Gracia-Marco et al. (2012b) konnten aber auch zeigen, dass dieser Effekt aufgrund der höheren fettfreien Masse bei den Übergewichtigen zustande kommt. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die übergewichtigen Kinder und Jugendlichen im Vergleich zu den Normalgewichtigen mit der gleichen fettfreien Masse eine proportional geringe Knochenmasse aufweisen.

Wohingegen andere Studien zeigen konnten, dass die Knochenmasse bei Übergewichtigen vermindert ist (Goulding et al. 2002, Goulding et al. 2000, Rocher et al. 2008). Fintini et al. (2011) können nur bei adipösen Jungen einen negativen Effekt auf die Knochenmasse finden, nicht jedoch bei Mädchen.

Positive Zusammenhänge zwischen dem Körpergewicht und der Knochenmasse stellen Mølgaard et al. (1998) fest. Hier wurden 343 Jungen und Mädchen im Alter von 5 bis 19 Jahren untersucht.

Goulding et al. (2001) konnten in ihrer Studie zeigen, dass übergewichtige oder adipöse Kinder und Jugendliche aufgrund niedriger Knochenmasseparameter ein erhöhtes Frakturrisiko haben.

In Tabelle 2-12 (S. 44) sind die Untersuchungen näher beschrieben, die Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und der Körperzusammensetzung bzw. dem Körpergewicht bei Kindern und Jugendlichen analysiert haben.

Tabelle 2-12: Zusammenhang zwischen der fettfreien Masse, der Fettmasse, dem Körpergewicht bzw. BMI und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Messart Körper-zusammensetzung	Messorte (Messart) der Knochenmasse	Korrelationskoeffizient r	
Zusammenhang zwischen fettfreier Masse bzw. Fettmasse und Knochenmasse					
Arabi et al. (2004)	381 (184/197), 10-17 J	DXA	Gesamter Körper (TB), Lendenwirbelsäule (LS), Oberschenkelhals (FN), Radius (R) (DXA)	Ju	FFM:LS BMC r = 0,79 FFM:TB BMC r = 0,96 FFM:R BMC r = 0,87 FFM:FN BMC r = 0,89
					FM:TB BMC r = 0,49
				M	FFM:LS BMC r = 0,62 FFM:TB BMC r = 0,78 FFM:R BMC r = 0,75 FFM:FN BMC r = 0,82
					FM:TB BMC r = 0,56
				A	FM:LS BMC r = 0,36 FM:R BMC r = 0,35 FM:FN BMC r = 0,41
Campos et al. (2012)	125 (45/80) postpuberale Jugendliche (adipös), 14-18 J	US	Gesamter Körper (TB) (DXA)	Ju	KG:TB BMD r = 0,38 scF:LL BMD r = 0,37 FM:LL BMD r = 0,34 FM:P BMD r = -0,40
Crabtree et al. (2004)	646 weiß, gesund, 5-18 J	DXA	Gesamter Körper (TB), Lendenwirbelsäule (DXA)	FFM:TB BMC r = 0,972 FFM:TB BMC r = 0,941	
Csakvary et al. (2012) *	237 (104/133), 7-16 J	DXA	Gesamter Körper, Lendenwirbelsäule (DXA)	Ju Prä	k. A.
				Ju Mid	k. A.
				M Prä	k. A.
				M Mid	k. A.
El Hage et al. (2009a)	56 Mädchen (normalgewichtig, übergewichtig), 10-20 J	DXA	Gesamter Körper (DXA)	FFM:BMD r = 0,33 FFM:BMC r = 0,64 FFM:BMA r = 0,79	

Autor	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Messart Körperzusammensetzung	Messorte (Messart) der Knochenmasse	Korrelationskoeffizient r
				FM:BMD r = 0,29 FM:BMC r = 0,57 FM:BMA r = 0,69 FM%:BMC r = 0,44 FM%:BMA r = 0,53
El Hage et al. (2009b)	42 Mädchen (normalgewichtig, übergewichtig), 12-20 J	DXA	Gesamter Körper (TB), Lendenwirbelsäule (LS), Hüfte (H), Oberschenkelhals (FN) (DXA)	FFM:TB BMC r = 0,77 FFM:TB BMA r = 0,86 FFM:TB BMD r = 0,49 FFM:LS BMD r = 0,55 FFM:LS BMAD r = 0,43 FFM:H BMD r = 0,56 FFM:FN BMD r = 0,66 FM:TB BMC r = 0,69 FM:TB BMA r = 0,77 FM:TB BMD r = 0,45 FM:LS BMD r = 0,54 FM:LS BMAD r = 0,56 FM:H BMD r = 0,53 FM:FN BMD r = 0,59
El Hage et al. (2011)	56 Jungen (normalgewichtig, übergewichtig), 14-20 J	DXA	Gesamter Körper (TB), Lendenwirbelsäule (LS), Hüfte (H), Oberschenkelhals (FN), linker Unterarm (R)	FFM:TB aBMD r = 0,58 FFM:LS aBMD r = 0,55 FFM:H aBMD r = 0,51 FFM:FN aBMD r = 0,53 FFM:UD R aBMD r = 0,45 FFM:1/3 R aBMD r = 0,46 FFM:Mid R aBMD r = 0,48 FFM:R aBMD r = 0,50 FM:TB BMC r = 0,44 FM:TB BMA r = 0,58 FM:TB aBMD r = 0,28 FM:TB BMAD r = -0,37 FM:TH aBMD r = 0,30

Autor	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Messart Körperzusammensetzung	Messorte (Messart) der Knochenmasse	Korrelationskoeffizient r	
Farr et al. (2010)	396 Mädchen, 8-13 J	k. A.	Femur (F), Tibia (T) (pQCT)	FM:F BMDtrab r = 0,20 FM:T BMDtrab r = 0,26 FM:T BMDcort r = 0,15	
Fintini et al. (2011)	151 (normalgewichtig, adipös), 14,5 ± 2,4 J	DXA	Gesamter Körper (DXA)	J (NG)	FFM:BMD
				J (AD)	FFM:BMD
				M (NG)	FFM:BMD
Fricke et al. (2008a)	295 Kinder und Jugendliche, 5-19 J (DONALD)	Hautfaltendicke	Unterarm (pQCT)	J Prä	FM%:BMDtrab r = 0,242
				J Mid	FM%:BMDtrab r = -0,275 FM%:Bmcount r = -0,287
				M Prä	FM%:BMDtrab r = 0,394
				M Mid	FM%:BMDtrab r = 0,215 FA:BMDtrab r = 0,285 FA:BMDcort r = -0,296
Fricke et al. (2008b)	296 (139/157), 5-19 J (DONALD)	pQCT	Nicht-dominanter Unterarm (pQCT)	J Mid	MA:BMDtot r = 0,59 MA:BMDtrab r = 0,40 MA:BMDcort r = 0,29
					FA:BMDtot r = -0,25 FA:BMDtrab r = -0,28
				M Prä	MA:BMDtot r = 0,32 MA:BMDtrab r = 0,27
					FA:BMDtrab r = 0,28
				M Mid	MA:BMDtot r = 0,30 MA:BMDtrab r = 0,36 MA:BMDcort r = 0,26
					FA:BMDtrab r = 0,31 FA:BMDcort r = -0,32
Gracia-Marco et al. (2012a)	322 (164/158), 12-17 J, (HELENA-CSS)	DXA	Gesamter Körper (TB), Hüfte (H), Lendenwirbelsäule (DXA)	FFM:TB BMC r = 0,79 FFM:H BMC r = 0,83	

Autor	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Messart Körperzusammensetzung	Messorte (Messart) der Knochenmasse	Korrelationskoeffizient r	
Gracia-Marco et al. (2012b)	330 (167/163), 12-17 J (HELENA)	DXA, BodPod	Gesamter Körper (TB), Hüfte, Lendenwirbelsäule, Oberschenkelhals (DXA)	Ju	FFM:TB BMC r = 0,587-0,632 FFM:TB BMD r = 0,473-0,530 FM:TB BMC r = -0,112-0,200 FM:TB BMD r = -0,248
				M	FFM:TB BMC r = 0,521-0,626 FFM:TB BMD r = 0,322-0,387 FM:TB BMC r = 0,295-0,302 FM:TB BMD r = 0,155-0,163
Gordon und Webber (1993)	76 Mädchen, 8-26 J	DPA	Gesamter Körper (DPA)	FFM:BM r = 0,84 FFM:BMD r = 0,76 FM:BMD r = 0,65	
Högler et al. (2003)	459 (210/249), 3-30 J	DXA	Gesamter Körper (DXA)	Ju	FFM:BMC r = 0,984
				M	FFM:BMC r = 0,975
Ivuskans et al. (2013)	264 Jungen (normalgewichtig, übergewichtig), 11-13 J	DXA	Gesamter Körper, Lendenwirbelsäule, Oberschenkelhals (DXA)	NG	FFM:BMC r = 0,895 FFM:BMD r = 0,622 FFM:BMAD r = -0,532 FM:BMC r = 0,454 FM:BMD r = 0,381 FM:BMAD r = -0,190 Bauchfett:BMC r = 0,495 Bauchfett:BMD r = 0,422 Bauchfett:BMAD r = -0,213
				ÜG	FFM:BMC r = 0,876 FFM:BMD r = 0,735 FFM:BMAD r = -0,431 FM:BMC r = 0,756 FM:BMD r = 0,615 FM:BMAD r = -0,489 Bauchfett:BMC r = 0,737 Bauchfett:BMD r = 0,610 Bauchfett:BMAD r = -0,485

Autor	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Messart Körper-zusammensetzung	Messorte (Messart) der Knochenmasse	Korrelationskoeffizient r	
Laddu et al. (2013)	260 Mädchen, 8-13 J	DXA	Femur (F), Tibia (pQCT)	FM:F vBMD r = 0,12	
Leonard et al. (2004)	235 (normalgewichtig, adipös), 4-20 J	DXA	Gesamter Körper, Wirbel (DXA)	A	FFM:BMC bzw. BA r ≥ 0,93
Maggio et al. (2014)	49 (24/25), normalgewichtig, adipös, 10-16 J	DXA	Gesamter Körper (DXA)	FFM:BMD r ² = 11,4 % FM:BMD r ² = 29,8 % Bauchfett:BMD r ² = 20,7 %	
Manzoni et al. (1996)	115 (58/57), normalgewichtig, adipös, 5-18 J	DXA	Gesamter Körper (DXA)	NG	FFM:BMC r = 0,94
					FM:BMC r = 0,54
				ÜG	FFM:BMC r = 0,91
					FM:BMC r = 0,68
Perotti et al. (2013)	30 (14/16), 14-18 J	DXA	Gesamter Körper (DXA)	FMI:BMD r = -0,43	
Pietrobelli et al. (2002)	133 (70/63), 5-17 J	DXA	Gesamter Körper (DXA)	Ju	LTM:BMC r = 0,94
					FM:BMC r = 0,71
				M	LTM:BMC r = 0,91
					FM:BMC r = 0,70
Sayers und Tobias (2010) *	4005, 15,5 J (ALSPAC)	DXA	Tibia (pQCT)	Ju	k. A.
				M	k. A.
Viljakainen et al. (2011)	186 (73/113), 7-19 J	DXA, pQCT	Gesamter Körper (TB), Lendenwirbelsäule, Hüfte (DXA); Radius (pQCT)	FM%:TB BMD r = -0,142	
Weiler et al. (2000)	60 gesunde Mädchen, 10-19 J	DXA	Gesamter Körper (DXA)	FM%:BMC r = n. s. FM%:BMD r = n. s.	
Witzke und Snow (1999)	54 Mädchen, 14,6 ± 0,5 J	DXA	Gesamter Körper, Oberschenkelhals, Lendenwirbelsäule	FFM:BMD r = 0,45-0,77	

Autor	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Messart Körper-zusammensetzung	Messorte (Messart) der Knochenmasse	Korrelationskoeffizient r		
Zusammenhang zwischen Körpergewicht bzw. BMI und Knochenmasse						
Ellis et al. (2003)	865 (421/444) (normalgewichtig, übergewichtig, adipös), 11-12 J	DXA	Gesamter Körper (DXA)	Ju	KG:BMC pos. Assoziation	
				M	KG:BMC pos. Assoziation	
Gilsanz et al. (2009)	100 Mädchen, 15-25 J	CT	Femur (F) (CT)	KG:F CSA r = 0,66 KG:F CBA r = 0,65 BMI:F CSA r = 0,53 BMI:F CBA r = 0,57		
Goulding et al. (2000)	336 (136/200), 3-19 J	DXA	Gesamter Körper (DXA)	Ju	KG:BMC R = 0,98	
				M	KG:BMC R = 0,97	
Goulding et al. (2002)	362 (202/160), 3-19 J	DXA	Gesamter Körper, Lendenwirbelsäule (DXA)	Ju	k. A.	
				M	k. A.	
Mølgaard et al. (1998)	343 (142/201), 5-19 J	DXA	Gesamter Körper	Ju	KG:BMC R = 0,98	
				M	KG:BMC R = 0,98	
Uusi-Rasi et al. (1997)	176 Mädchen, 8-20 J	DXA	Lendenwirbelsäule (LS), Oberschenkelhals (FN), Unterarm (R)	T 1	KG:BMC LS r = 0,74 KG:BMC FN r = 0,50 KG:BMC R r = 0,56	
				T 2-3	KG:BMC LS r = 0,62 KG:BMC FN r = 0,40 KG:BMC R r = 0,68	
				T 4-5	KG:BMC LS r = 0,69 KG:BMC FN r = 0,42 KG:BMC R r = 0,62	
Welten et al. (1994)	182 (84/98), 18-28 J (Amsterdam Growth and Health Study)	DXA	Lendenwirbelsäule (DXA)	Ju	13-17 J	KG:BMD n. s.
					13-21 J	
					13-27 J	KG:BMD R = 0,412
				M	13-17 J	KG:BMD R = 0,300
					13-21 J	KG:BMD R = 0,348
	13-27 J	KG:BMD R = 0,378				

MA = cross-sectional muscle area; FA = cross-sectional fat area; aLMI = appendicular lean mass index, FMI = fat mass index

(Quelle: eigene Darstellung)

2.3 Einfluss weiterer Faktoren auf die Knochenmasse

2.3.1 Pubertätsstatus

Der Reifestatus spielt eine wichtige Rolle bei der Interpretation einer Vielzahl von biologischen Parametern bzw. Prozessen wie beispielsweise beim Wachstum und der Knochenentwicklung (Dippelhofer et al. 2002). Zu den Hauptregulatoren des Knochenwachstums zählen das Wachstumshormon (GH), der *insulin-like growth factor 1* (IGF1), Schilddrüsenhormone und Sexualhormone (Testosteron, Estradiol), die ihre endokrine Wirkung auf die Hormonrezeptoren der Zellen in den Wachstumsfugen entfalten (Grumbach 2000, Kleine und Rossmanith 2010 S. 245).

Der puberale Wachstumsschub bei den Mädchen beginnt mit etwa zehn Jahren und der größte Zuwachs an Knochenmasse erfolgt im Alter zwischen 12 und 15 Jahren. Bei Jungen beginnt der Wachstumsschub mit etwa 12 Jahren und ist im Alter zwischen 14 bis 17 Jahren maximal (Heaney 2006 S. 1340f, Heaney et al. 2000, Matkovic et al. 2004b, Mora und Gilsanz 2003, Theintz et al. 1992). Während dieser Zeit ist das Risiko für Frakturen relativ groß, da die Mineralisierung der Knochen dem Längenwachstum hinterherhinkt (Bailey et al. 2000, Bailey et al. 1989, Fournier et al. 1997, Matkovic et al. 1994). Das Wachstum verläuft in dieser Zeit sehr schnell.

Das Ende des Längenwachstums wird bei Mädchen im Alter von 16 und bei Jungen im Alter von 17 Jahren erreicht (Tanner 1962 S. 30). Allerdings sind bis dahin nur etwa 85-90 % der finalen Knochenmasse eines Erwachsenen aufgebaut. Heaney et al. (2000) berichten, dass die PBM mit einer Verzögerung von etwa ein bis vier Jahren später erreicht wird.

Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass bei Eintritt in die Pubertät die Zunahme der Knochenmasse bei Jungen und Mädchen unterschiedlich verläuft. Bei Jungen dauert der Prozess der Knochenreifung länger als bei Mädchen. Dies spiegelt sich bei Jungen in größeren Knochen und in einer dickeren Kortikales wider (Bonjour et al. 1994, Nguyen et al. 2001, Seeman 1999, Tanner 1962 S. 2; 29f, WHO 2003 S. 16).

Der puberale Wachstumsschub des Skeletts hängt mit der gleichzeitigen Entwicklung der Fortpflanzungsorgane zusammen (Tanner 1962 S. 31).

Bei Jungen ist zunächst das Wachstum der Testes und des Skrotums beschleunigt, zur gleichen Zeit gibt es erste Anzeichen der Schamhaarentwicklung. Etwa ein Jahr später beginnt der Wachstumsschub der Körperlänge und des Penis. Zwei Jahre nach Beginn des Schamhaarwachstums erscheint die Behaarung in der Achselhöhle und des Gesichts. (Tanner 1962 S. 34-44).

Bei Mädchen ist die Entwicklung der Brustknospe das erste Zeichen des Pubertätsbeginns. Die Menarche setzt erst ein, wenn die Spitzengeschwindigkeit des Längenwachstums bereits vorüber ist (Tanner 1962 S. 49f). Die Variationen für den Beginn und den Abschluss der einzelnen Vorgänge sind sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen relativ groß (Tanner 1962 S. 34; 44).

Als international gültiger bzw. anerkannter Standard gelten die von Tanner definierten Entwicklungsstufen. Dabei werden die Prozesse der Brustentwicklung bei Mädchen (B1-B5), die Genitalentwicklung bei Jungen (G1-G5) und die Schamhaarentwicklung (PH1-PH5) in fünf Stadien sowie die Achselhaarentwicklung (A1-A3) bei beiden Geschlechtern in drei Stadien aufgeteilt (Tanner und Whitehouse 1976, Tanner 1962 S. 31-51).

Die Einschätzung der sekundären Geschlechtsmerkmale ist zum Teil ein invasives Vorgehen. Der Pretest des Kinder- und Jugendgesundheitssurveys (KiGGS) zeigte, dass eine körperliche Untersuchung der Schamregion durch eine Ärztin von vielen Kindern und Jugendlichen abgelehnt wurde, insbesondere von Mädchen mit Migrationshintergrund. Deswegen wurde in der KiGGS-Studie auf Zeichenvorlagen zurückgegriffen, anhand derer die Kinder und Jugendlichen ab zehn Jahren ihre Schambehaarung nach Tanner selbst eingeschätzt haben.

Im Alter von zehn Jahren geben 42,2 % der Mädchen und 35,7 % der Jungen eine Entwicklung der Schambehaarung an. Die Mehrzahl der Jungen (47,8 bzw. 46,5 %) und Mädchen (57,5 bzw. 23,6 %) haben im Alter von 17 Jahren die höchsten Stufen (PH5 bzw. PH6) nach Tanner erreicht. Das Alter für die Menarche wird im Median bei 12,8 Jahren und für die Mutationsstufe 1 (Stimme schwankt) bei 13,5 Jahren bzw. für die Mutationsstufe 2 (Stimme tief) bei 15,1 Jahren angegeben (Kahl et al. 2007a).

Es gibt positive Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und dem Pubertätsstatus bei Kindern und Jugendlichen (Farr et al. 2010, Gracia-Marco et al. 2012a, Rubin et al. 1993, Sabatier et al. 1996) (Vgl. Tabelle 2-13 S. 52).

Tabelle 2-13: Zusammenhang zwischen dem Pubertätsstatus und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen

Autor (Jahr)	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Erfassung Pubertätsstatus	Messorte (Messart der Knochenmasse)	Korrelationskoeffizient r
Gracia-Marco et al. (2012a)	322 (164/158), 12,5-17,5 J, (HELENA)	Tanner und Whitehouse: k. A., Arzt	Gesamter Körper (TB), Hüfte (H), Lendenwirbelsäule (DXA)	PS:TB BMC r = 0,44 PS:H BMC r = 0,17
Rubin et al. (1993)	299 (136/163), 6-18 J	Tanner: J (G, PH), M (B, PH)	Nicht-dominanter Radius (R) (SPA); Lendenwirbelsäule (LS) (DPA)	PS:R BMD r = 0,803 PS:LS BMD r = 0,863
				PS:R BMD R = 0,86 PS:LS BMD R = 0,860
Sabatier et al. (1996)	574 Mädchen, Frankreich, 10-24 J	Tanner: (B, PH), Alter Menarche, Regelmäßigkeit	Lendenwirbelsäule (LS) (DXA)	PS:LS BMD r = 0,768 PS:LS BMC r = 0,781
Farr et al. (2010)	396 Mädchen, 8-13 J	Tanner	Femur (F), Tibia (T) (pQCT)	PS:F BMDcort r = 0,18 PS:T BMDtrab r = 0,18 PS:T BMDcort r = 0,40

(Quelle: eigene Darstellung)

2.3.2 Soziodemographische Merkmale

2.3.2.1 Bildung

Riskantes Gesundheitsverhalten tritt vermehrt bei Personen mit einem niedrigen Bildungsstatus auf (Fine et al. 2004, Nocon et al. 2007, Stronegger et al. 1997). Versuche, den Einfluss der Bildung auf das Gesundheitsverhalten zu erklären, basieren auf dem Wissen, vor allem spezifisches Gesundheitswissen, kognitive Fähigkeiten und soziale Netzwerke.

Sowohl von der Familie als auch der Schule werden Kinder und Jugendliche hinsichtlich ihrer Einstellungen, Werte und Überzeugungen geprägt. Die Familie hat zudem eine wichtige Bedeutung für die Sozialisation und Bildung der Heranwachsenden. Diese können auch für die Gesundheit und das Gesundheitsverhalten eine wichtige Rolle spielen. Schule ist als Ort der Wissens- und Kompetenzvermittlung ein weiterer sozialer Lebensraum: Schule kann zu einem Ausgleich der Lebens- und Gesundheitschancen beitragen und familiäre Defizite ausgleichen sowie als wichtige Unterstützungsressource gesehen werden. Andererseits kann Schule genau das Gegenteil bewirken: Hoher Leistungsdruck, schlechtes Klassenklima sowie Konflikte mit Lehrern und Mitschülern führen zu Belastungen, die wiederum Auswirkungen auf die Gesundheit und das Gesundheitsverhalten von Kindern und Jugendlichen haben können.

Der Bildungshintergrund der Eltern hat einen erheblichen Einfluss auf die Gesundheitschancen von Kindern und Jugendlichen. Kinder und Jugendliche aus bildungsfernen Familien zeigen häufiger ein ungünstigeres Ernährungsverhalten als die Gleichaltrigen aus den sozial besser gestellten Bevölkerungsgruppen. Zudem sind Kinder und Jugendliche aus Familien mit einem niedrigen Bildungsniveau häufiger von einem Verdacht auf Essstörungen betroffen. Auch bezüglich des Übergewichts sind Kinder und Jugendliche aus Familien mit niedrigem Bildungsstatus deutlich häufiger übergewichtig, vor allem die 11- bis 17-jährigen Mädchen. Beim Sport zeigen sich ebenfalls Bildungsunterschiede: Mehr Jungen und Mädchen aus bildungsfernen Haushalten treiben seltener als einmal in der Woche Sport (RKI 2010).

Aber nicht nur der Zusammenhang zwischen dem Bildungsniveau der Eltern und der Gesundheit des Kindes ist von Bedeutung, sondern auch der Zusammenhang zwischen dem Schultyp des Kindes und seiner Gesundheit: Jugendliche, die eine Hauptschule besuchen, weisen einen schlechteren Gesundheitszustand auf und zeigen ein eher riskantes Gesundheitsverhalten als Jugendliche aus höheren Bildungsschichten. Zudem gaben nur 28 bzw. 27 % der 11- bis 17-jährigen Jungen und Mädchen, die eine Hauptschule besuchen, an, einen sehr guten allgemeinen Gesundheitszustand zu haben.

Im Vergleich dazu betrifft es 31 bzw. 30 % der Realschüler und -schülerinnen sowie 40 bzw. 37 % der Schüler bzw. Schülerinnen eines Gymnasiums (RKI 2010).

Die Daten der KiGGS-Studie legen nahe, dass aufgrund nachteiliger Startchancen und eines ungünstigen Lebensstils, die durch den Bildungsstatus bedingt sind, schlechtere Gesundheitschancen im Kindes- und Jugendalter bestehen (Kuntz und Lampert 2011). Inwieweit sich dies auf die Knochengesundheit auswirkt, ist unklar. Bisher existieren nur sehr wenige Studien dazu.

Einige Studien haben beobachtet, dass, je höher der sozioökonomische Status (SES) ist, desto höher ist die Knochenmasse bei Jungen und Mädchen (Chaumoitre et al. 2010, Marwaha et al. 2007) bzw. bei beiden Geschlechtern (Lantz et al. 2008, Norris et al. 2008). Bei einer anderen Studie wurde das Gegenteil (Clark et al. 2005) beobachtet. Allerdings konnten Lantz et al. (2008) bei den 15- und 20-jährigen im Gegensatz zu den 17-jährigen Jugendlichen keine Assoziationen zwischen der Knochenmasse und dem Bildungsgrad des Vaters finden. Zudem wurden keine Zusammenhänge zwischen SES und der Frakturhäufigkeit bei Kindern und Jugendlichen festgestellt (Lyons et al. 2000).

Bei Khadilkar et al. (2012) konnte gezeigt werden, dass die Knochenmasse bei Mädchen mit einem niedrigen SES niedriger war als bei den Mädchen mit einem hohen SES. Ähnliche Befunde präsentierten Marwaha et al. (2007) in ihrer Studie: Ab einem Alter von 11 Jahren ist die Knochenmineraldichte am Calcaneus bei indischen Mädchen mit einem hohen SES, operationalisiert über den Schultyp (Privatschule vs. staatliche Schule), signifikant höher als bei den gleichaltrigen Mädchen mit einem niedrigen SES. Bei der Knochenmineraldichte des Unterarms ist dies nicht mehr ganz so eindeutig. Hier ist die BMD nur bei den 10-, 12- und 14- bis 16-jährigen Mädchen mit einem hohen SES signifikant größer.

Es konnten keine Zusammenhänge zwischen Parametern des SES wie Bildungsstand der Eltern, Berufstätigkeit der Eltern etc. und der Knochenmasse bei 322 spanischen Jugendlichen der HELENA-Studie (Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence) gefunden werden (Gracia-Marco et al. 2012a). Im Gegensatz dazu konnten Nabulsi et al. (2008) in einer Studie zeigen, dass ein geringer SES, operationalisiert als Höhe des Schulgeldes, mit einer niedrigen Knochenmasse bei 326 libanesischen Jugendlichen im Alter von 10 bis 17 Jahren assoziiert war.

Laut der GEDA-Befragungen des RKI, die 2009 und 2010 bei erwachsenen Männern und Frauen im Alter von 18 bis 99 Jahren durchgeführt wurden, gibt es keine wesentlichen Unterschiede der Prävalenz von Osteoporose zwischen den verschiedenen Bildungsgruppen (untere, mittlere, obere) (RKI 2012).

Der Zusammenhang zwischen soziodemographischen Daten und der Knochenmasse von Kindern und Jugendlichen ist in Tabelle 2-14 (S. 55) sind Studien aufgeführt.

Tabelle 2-14: Zusammenhang zwischen soziodemographischen Daten und der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Beschreibung der Probanden (Ju/M)	Erfassung soziodemographische Daten	Messorte (Messart der Knochenmasse)	Korrelationskoeffizient r	
Gracia-Marco et al. (2012a)	322 (164/185), 12,5-17,5 J (HELENA)	Fragebogen: FAS, Bildungsstand und Berufstätigkeit der Eltern	Gesamter Körper, Hüfte, Lendenwirbelsäule (DXA)	n. s.	
Nabulsi et al. (2008)	326 (170/156), 10-17 J	Fragebogen: SES anhand Schulgebühren	Lendenwirbelsäule (LS), Hüfte (H), Femur (FN), gesamter Körper (TB) (DXA)	Ju	SES:LS BMD/LM $R^2 = 5 \%$ SES:H BMD/LM $R^2 = 4,5 \%$ SES:FN BMD/LM $R^2 = 7,8 \%$ SES:TB BMC/LM $R^2 = 2,7 \%$ SES:TB BMD/LM $R^2 = 9 \%$
				M	SES:LS BMD/LM $R^2 = 4,5 \%$ SES:H BMD/LM $R^2 = 4,0 \%$ SES:FN BMC/LM $R^2 = 3 \%$ SES:FN BMD/LM $R^2 = 9 \%$ SES:TB BMC/LM $R^2 = 4,7 \%$ SES:TB BMD/LM $R^2 = 11,8 \%$

(Quelle: eigene Darstellung)

2.3.2.2 Migrationshintergrund

Migration ist ein Phänomen, das weltweit auftritt. Laut Statistischem Bundesamt hatten im Jahr 2009 1.193.000 Kinder und Jugendliche zwischen 10 und 20 Jahren einen Migrationshintergrund. Sie sind entweder selbst immigriert oder sind Kinder oder Enkelkinder von Einwanderern (Statistisches Bundesamt 2011).

Migration ist ein Ereignis, welches die Biographie einer Person betrifft, aber auch nachfolgende Generationen. Migration ist sowohl mit Chancen als auch mit Risiken bezüglich der sozialen und ökonomischen Situation und dem Gesundheitsstatus assoziiert. Eine wichtige Rolle spielen die eigene Landessprache und der kulturelle Hintergrund. Migration ist ebenfalls mit psychosozialen Stress assoziiert und Personen mit einem Migrationshintergrund sind eher von Benachteiligungen betroffen, z. B. von einem niedrigen SES, Sprachbarrieren, einem unterschiedlichen Verständnis von Krankheit und Gesundheit sowie Diskriminierung (RKI 2008). Die ethnische Zugehörigkeit geht in Deutschland mit einem hohen Risiko für schlechtere Bildungschancen einher. Dies könnte sich möglicherweise auch auf die Gesundheit auswirken. Allerdings ist die Datenlage für Deutschland diesbezüglich als unzureichend einzustufen (Schenk et al. 2007). Es gibt Hinweise darauf, dass Kinder und Jugendliche mit Migrationshintergrund in verschiedenen Bereichen größeren Gesundheitsrisiken ausgesetzt sind als Kinder und Jugendliche ohne Migrationshintergrund.

In der KiGGS-Studie verfügten 17,1 % der Kinder und Jugendlichen über einen Migrationshintergrund. Die Gruppen der türkischstämmigen und russlanddeutschen Migranten sind in Deutschland besonders stark vertreten (Lange et al. 2007).

Bezogen auf das Ernährungsverhalten gibt es einige Unterschiede zwischen Kindern und Jugendlichen mit Migrationshintergrund und ohne: Jungen und Mädchen mit einem türkischen und russlanddeutschen Migrationshintergrund trinken tendenziell seltener täglich Milch. Dafür essen die türkischen Migranten häufiger täglich Käse und seltener täglich Wurst, verzehren täglich am meisten rohes Gemüse, Leitungswasser sowie frittierte oder gebratene Kartoffeln, Süßigkeiten und Knabbereien. Die anderen Migrationsgruppen essen etwas häufiger Fisch, gegartes Gemüse und Nudeln oder Reis (Mensink et al. 2007a).

Die körperliche Inaktivität ist bei Kindern mit Migrationshintergrund stark ausgeprägt. Mädchen mit Migrationshintergrund im Jugendalter sind ebenfalls zu einem höheren Anteil inaktiv. Im Gegensatz dazu lassen sich bei den Jungen derselben Altersgruppe nur geringe Unterschiede finden (Lampert et al. 2007a). Bezüglich der starken Nutzung von elektronischen Medien hat der Migrationshintergrund bei den Mädchen keine Bedeutung. Jungen mit Migrationshintergrund beschäftigen sich dagegen häufiger mit Fernsehen/Video, Computer/Internet und Spielkonsole (Lampert et al. 2007b).

Laut KiGGS besteht bei den Kindern und Jugendlichen mit Migrationshintergrund ein höheres Risiko für Übergewicht und Adipositas (Kurth und Schaffrath Rosario 2007). Bei Unfällen insgesamt zeigte sich bei den 5- bis 15-jährigen Mädchen mit Migrationshintergrund eine signifikant niedrigere Verletzungshäufigkeit (Kahl et al. 2007b).

Ob Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und einem Migrationshintergrund bei Kindern und Jugendlichen bestehen, ist bisher nicht untersucht worden.

2.4 Fragestellung

Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und den verschiedenen Lebensstilfaktoren bei Kindern und Jugendlichen sind sehr vielschichtig/komplex und werden von gleichzeitig ablaufenden Prozessen (Wachstum, Pubertät etc.) begleitet.

In der Literatur sind eine Vielzahl verschiedener Einflussfaktoren auf die Knochenmasse während des Wachstums bei Kindern und Jugendlichen beschrieben worden, die für die Optimierung bzw. Minimierung der Knochenmasse eine besondere Rolle spielen: Neben genetischen Faktoren werden die Ernährung, die körperliche Aktivität, die Körperzusammensetzung, der Genussmittelkonsum, der Hormonstatus sowie Erkrankungen und Medikamente genannt (Cooper et al. 2006, Cvijetić et al. 2003, Hirota et al. 2005, Tyndall et al. 2008).

Der Einfluss einzelner Lebensstilfaktoren auf die Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen wurde zum Teil in vielen Studien untersucht, aber oft mit widersprüchlichen Ergebnissen ausgewertet (Vgl. Kapitel 2.2 S. 20) (Alexy et al. 2005, Arabi et al. 2004, Bailey et al. 1999, Bass et al. 1998, Baxter-Jones et al. 2008, Beasley et al. 2010, Campos et al. 2012, Cashman et al. 2008, Cheng et al. 2003, Crabtree et al. 2004, Csakvary et al. 2012, Dodiuk-Gad et al. 2005, El Hage et al. 2009a, El Hage et al. 2009b, El Hage et al. 2011, El-Hajj Fuleihan et al. 2006, Ellis et al. 2003, Farr et al. 2010, Fintini et al. 2011, Forwood et al. 2006, Fricke et al. 2008a, Fricke et al. 2008b, Gilsanz et al. 2009, Gordon und Webber 1993, Goulding et al. 2000, Goulding et al. 2002, Gracia-Marco et al. 2012b, Haapasalo et al. 1998, Högler et al. 2003, Ivuskans et al. 2013, Kontulainen et al. 2002, Kristinsson et al. 1998, Laddu et al. 2013, Lehtonen-Veromaa et al. 2000a, Lehtonen-Veromaa et al. 2002, Leonard et al. 2004, Maggio et al. 2014, Maggiolini et al. 1999, Manzoni et al. 1996, Mølgaard et al. 1998, Nabulsi et al. 2008, Nurmi-Lawton et al. 2004, Outila et al. 2001, Perotti et al. 2013, Pettersson et al. 2010, Pietrobelli et al. 2002, Prentice et al. 2005, Rideout et al. 2006, Rozen et al. 2003, Rubin et al. 1993, Sabatier et al. 1996, Sayers und Tobias 2010, Vatanparast et al. 2005, Vatanparast et al. 2007, Viljakainen et al. 2011, Weiler et al. 2000, Witzke und Snow 1999).

Bislang existieren nur sehr wenige Studien, in denen die Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und der Körperzusammensetzung sowie verschiedenen Lebensstilfaktoren im Kindes- und Jugendalter umfassend untersucht wurden (Gracia-Marco et al. 2012a, Mouratidou et al. 2013, Welten et al. 1994). Zudem wird die quantitative Ultrasonometrie bei Kindern und Jugendlichen noch relativ selten für diese Fragestellung eingesetzt (Babaroutsi et al. 2005a, Cvijetić et al. 2003, Robinson et al. 2007, Sawyer et al. 2001, Uenishi und Nakamura 2010, Wetter und Economos 2004, Yesil et al. 2013).

Neuere Studien belegen, dass Kinder und Jugendliche einen zunehmend ungünstigeren Lebensstil aufweisen (Lampert et al. 2007b, Mensink et al. 2007a). Es besteht das Risiko, dass eine optimale/ausreichend hohe PBM nicht erreicht wird.

Vor diesem Hintergrund wurden von gesunden Schülern und Schülerinnen aus Schwäbisch Gmünd und Umgebung die Knochenmasse, die Körperzusammensetzung, Ernährungs- und Aktivitätsgewohnheiten sowie soziodemographische Merkmale erhoben. Die Messung der Knochenmasse erfolgte mittels der quantitativen Ultrasonometrie am Fersenbein. Mit Hilfe der bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) wurden Messwerte für die Berechnung der fettfreien Masse und der Fettmasse ermittelt. Das Ernährungs- und Aktivitätsverhalten, der Pubertätsstatus, soziodemographische Merkmale sowie weitere Einflussfaktoren wurden mittels standardisierter Fragebögen erfasst.

Zunächst werden methodische Aspekte untersucht. Zur Berechnung der Körperzusammensetzung aus den Messergebnissen der BIA existieren nur wenige Formeln für Kinder und Jugendliche. Die beschriebenen Formeln unterscheiden sich hinsichtlich der Variablen bzw. des Aufbaus, der Validierungsmethode, des Messgeräts und des Kollektivs. Daher sollen in der vorliegenden Arbeit folgende Fragen untersucht werden:

- 1) Inwieweit unterscheidet sich die mit den verschiedenen Formeln berechnete fettfreie Masse bei Jungen und Mädchen? Welche Formel ist geeignet, bei den Schülern und Schülerinnen die fettfreie Masse aus den Daten der BIA zu berechnen?

Da die Untersuchung an Schulen in Abwesenheit der Eltern durchgeführt wurde, sollten die eingesetzten Erhebungsinstrumente portabel, einfach und schnell anwendbar sowie nicht-invasiv sein. Zum anderen sollten nur geringe Verbrauchskosten entstehen. Zudem sollten die verwendeten Messinstrumente valide und präzise sein. Um dies zu gewährleisten, wurden einerseits valide Instrumente eingesetzt, andererseits die Präzision untersucht. Dafür wurden aus der Literatur Präzisionsstudien für die Messgeräte (QUS, BIA) herangezogen und bewertet.

Die Reproduzierbarkeit des Fragebogens für die Teile Ernährung, körperliche Aktivität und Pubertätsstatus wurde in einer weiteren Studie mit Schülern und Schülerinnen aus Baden-Württemberg überprüft. Die zweite Frage lautet daher:

- 2) Wie ist die Reproduzierbarkeit des eingesetzten Fragebogens hinsichtlich der Fragen zur Ernährung und Bewegung zu beurteilen?

Zur Bestimmung der Knochenmasse existieren unterschiedliche osteodensitometrische Messverfahren (Vgl. Kapitel 2.1.6 S 14). Die QUS bietet eine Alternative gegenüber der DXA, da sie eine strahlenfreie, kostengünstige, schnelle und portable Methode ist, die hinsichtlich der Bestimmung der Knochendichte mit der DXA vergleichbare Ergebnisse liefert (Barkmann und Glüer 2006, Krieg et al. 2006, Schnabel et al. 2005). QUS-Messungen am Calcaneus von Kindern erlauben im Vergleich zur DXA zuverlässige Aussagen zur Knochengesundheit von Kindern (Ahuja et al. 2006, Alwis et al. 2010, Baroncelli 2008, Brukx und Waelkens 2003, Falcini et al. 2000, Fielding et al. 2003, Jaworski et al. 1995, Lehtonen-Veromaa et al. 2000a, Lum et al. 1999, Mughal et al. 1996, Sundberg et al. 1998, Wang et al. 2008).

Ausgehend von der oben beschriebenen Lage sollen in der vorliegenden Arbeit weitere Fragen untersucht werden:

- 3) Wie sind die Knochenmasse-Parameter der quantitativen Ultrasonometrie bei Kindern und Jugendlichen zu beurteilen?
- 4) Bestehen Zusammenhänge zwischen der Körperzusammensetzung, der Ernährung, der Bewegung, soziodemographischen Merkmalen und der Knochenmasse im Kindes- und Jugendalter?
- 5) Unterscheiden sich Kinder und Jugendliche mit einer niedrigen Knochenmasse von Kindern und Jugendlichen mit einer hohen Knochenmasse hinsichtlich der verschiedenen Lebensstilfaktoren?
- 6) Gibt es Unterschiede in der Knochenmasse unter Berücksichtigung des Lebensstils bei Kindern und Jugendlichen mit unterschiedlichem sozialen Status und/oder Migrationshintergrund?

3 Methodik und Untersuchungsmethoden

3.1 Studie zu Knochengesundheit und Lebensstil von Gmünder Schülern und Schülerinnen

3.1.1 Studiendesign

Die vorliegende Studie „Knochengesundheit und Lebensstil von Gmünder SchülerInnen“ ist unter der Leitung von Frau Prof. Dr. Lührmann am Institut für Gesundheitswissenschaften in der Abteilung Ernährung, Konsum und Mode der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd durchgeführt worden. Dafür sind an 6 weiterführenden Schulen (Haupt-, Werkreal-, Realschulen und Gymnasien) in Schwäbisch Gmünd und Umgebung (Baden-Württemberg) von Juni 2010 bis Juli 2011 Untersuchungen vorgenommen worden.

Es handelt es sich um eine nicht-repräsentative Querschnittsstudie. Es ist darauf geachtet worden, dass die Schüler und Schülerinnen der verschiedenen Schultypen weitestgehend gleich vertreten sind.

In dieser Studie sind anthropometrische Messungen und Untersuchungen zur Knochenmasse und zur Körperzusammensetzung durchgeführt worden. Zudem sind Informationen zum Ernährungsverhalten, zur körperlichen Aktivität, zum Pubertätsstatus, zum Genussmittelkonsum, zur Einnahme von Medikamenten, zu Erkrankungen und Frakturen, zu postnatalen Faktoren sowie zur Soziodemographie mittels Schüler- und Eltern-Fragebogen (Vgl. Anhang A 5-1 S. 270, Anhang A 5-2 S. 284) erhoben worden. In Tabelle 3-1 sind die in der Studie erhobenen Parameter dargestellt.

Tabelle 3-1: Überblick über die verwendete Methode und deren Untersuchungsparameter

Kapitel	Zielgröße	Methode	Parameter
Zielgröße (abhängige Variable)			
3.2.1	Knochenmasse	Quantitative Ultrasonometrie (QUS)	Breitband-Ultraschall-Abschwächung, Ultraschall-Geschwindigkeit, Steifigkeitsindex
Einflussfaktoren (unabhängige Variablen)			
3.2.2	Körperzusammensetzung	Bioelektrische Impedanzanalyse	Fettfreie Masse, Fettmasse
3.2.3	Anthropometrie		Körpergewicht, Körpergröße, Body Mass Index
3.2.4	Ernährung	FFQ	Lebensmittelverzehr (Häufigkeit, Portionsmenge), Index für eine knochengesunde Ernährung (BHEI)
3.2.5	Körperliche Aktivität	Fragebogen	PAL

Kapitel	Zielgröße	Methode	Parameter
3.2.6	Pubertätsstatus	Fragebogen	PDS, PCS
3.2.7	Soziodemographische und - ökonomische Daten	(Eltern-) Fragebogen	Alter, Schulart, Klassenstufe, Bildungsniveau der Eltern, Migrationshintergrund
3.2.8	Aufenthalt im Freien	Fragebogen	Aufenthaltsdauer im Freien
	Genussmittelkonsum	Fragebogen	Rauchstatus
	Gesundheitsstatus	(Eltern-) Fragebogen	Erkrankungen, Frakturen Medikamenteneinnahme, hormonelle Verhütungsmittel
	Vitamin D-Versorgung	Elternfragebogen	Vitamin D-Einnahme im 1. Lebensjahr

(Quelle: eigene Darstellung)

3.1.2 Rekrutierung

Die Rekrutierung der Schüler und Schülerinnen erfolgte in drei Schritten: Rekrutierung der Schulen (1), der Klassen bzw. der Lehrer (2) sowie der Schüler und Schülerinnen (3).

1) Rekrutierung der Schulen

Im Rahmen der Rektorenkonferenz in Schwäbisch Gmünd im Herbst 2009 wurde die oben genannte Studie mittels eines Vortrages von Frau Prof. Dr. Lührmann den Schulleiterinnen und Schulleitern von Schwäbisch Gmünder und umliegenden Schulen vorgestellt und für die Teilnahme geworben.

In anschließenden persönlichen Gesprächen erfolgten von der Schulleitung zweier Schulen (Stauferschule, Hans-Baldung Gymnasium) direkte Zusagen zur Teilnahme an der Studie. Im Herbst 2010 und im Frühjahr 2011 konnten weitere Schulen durch direktes Ansprechen der Schulleitungen (Realschule Mutlangen, Werkrealschule Mutlangen, Parler Gymnasiums, Friedensschule) gewonnen werden. Alle Schulen erhielten weitere Informationen über die Studie und die Durchführung.

2) Rekrutierung der Klassen bzw. Lehrer

Die Gewinnung der Lehrer für die Teilnahme ihrer Klasse an der Studie erfolgte auf sehr unterschiedlichen Wegen, dabei fand der jeweilige Wunsch der Schulleitung Berücksichtigung. In den meisten Fällen übernahm die Schulleitung die Koordination der Rekrutierung über die verschiedenen Fach- bzw. Klassenlehrer.

Zudem wurden Aushänge in Lehrerzimmern angebracht. Interessierte Lehrer und Lehrerinnen konnten im persönlichen Gespräch, per Telefon oder unter Angabe Ihrer E-Mailadresse kontaktiert und für die Teilnahme gewonnen werden. Ein weiterer erfolgreicher Rekrutierungsweg waren die Schüler und Schülerinnen, die bereits selbst an der Studie teilgenommen hatten und anderen davon erzählten. Briefe informierten interessierte Lehrer und Lehrerinnen über die Studie, den Studienablauf und enthielten die Bitte um Unterstützung bei der Rekrutierung der Schüler und Schülerinnen.

3) Rekrutierung der Schüler und Schülerinnen

Nachdem die Lehrerinnen und Lehrer ebenfalls zugestimmt hatten, erhielten sie eine Anleitung zum Verteilen und Einsammeln der Einverständniserklärungen der Eltern und Elternfragebögen. Jeder Schüler und jede Schülerin bekam einen Elternbrief mit der Einverständniserklärung und einem Elternfragebogen, der bei Interesse von den Eltern auszufüllen und bis zum vereinbarten Zeitpunkt (zumeist der Untersuchungstag) unterschrieben wieder mitzubringen war.

Die Schüler und Schülerinnen durften an der Studie teilnehmen, die am Tag der Untersuchung die unterschriebene Einverständniserklärung der Eltern vorliegen hatten.

3.1.3 Studienablauf

Mit dem jeweiligen Lehrer bzw. der jeweiligen Lehrerin wurde ein Termin für die Untersuchung vereinbart. Am Untersuchungstag wurde zunächst ein separater Raum für die Untersuchungen vorbereitet, der von der Schulleitung vor Ort zur Verfügung gestellt wurde. Im Anschluss erfolgte die Befragung der Schüler und Schülerinnen durch geschulte Untersucher. Voraussetzung dafür waren die Einverständniserklärungen. Anschließend wurde im Rahmen einer Schulstunde der Schülerfragebogen von den teilnehmenden Kindern und Jugendlichen allein ausgefüllt. Bei Rückfragen, Verständnis- und Sprachproblemen unterstützten zwei geschulte Untersucher die Schüler und Schülerinnen beim Ausfüllen des Fragebogens.

Im Anschluss daran verließen jeder Schüler bzw. jede Schülerin einzeln für etwa zehn Minuten den Unterricht. Frau Schweter führte verschiedene Untersuchungen durch. Zunächst erfolgte eine kurze persönliche Befragung zu Daten der Pubertät, Menstruation und zum Verzehr bestimmter Lebensmittel. Anschließend wurden das Körpergewicht und die Körpergröße bestimmt. Danach erfolgte die Messung der Körperzusammensetzung und der Knochenmasse. Am Ende der Untersuchung erhielt jeder Schüler und jede Schülerin ein individuelles Auswertungsblatt mit Einschätzung des Body Mass Index und der prozentualen Fettmasse und allgemeine Ernährungs- und Bewegungsempfehlungen.

Als Dankeschön für die erfolgreiche Teilnahme bekamen die Schüler und Schülerinnen Kinogutscheine für das örtliche Kino. Auf Wunsch konnte jeder Lehrer und jede Lehrerin der teilgenommenen Klasse eine Messung der Knochenmasse durchführen lassen.

Sowohl bei der Befragung als auch bei den Untersuchungen wurde Frau Schweter von bis zu drei geschulten Untersuchern unterstützt, die entweder ein Lehramtsstudium oder jeweils ein Bachelor- oder Masterstudium der Gesundheitsförderung absolvieren.

3.2 Untersuchungsmethoden

3.2.1 Quantitative Ultrasonometrie zur Bestimmung der Knochenmasse

3.2.1.1 Prinzip der Quantitativen Ultrasonometrie zur Bestimmung der Knochenmasse

Bei der QUS werden Ultraschallwellen eingesetzt, um quantitative Variablen zur Bestimmung von Gewebeeigenschaften zu messen. Der Calcaneus wird oft als Messort ausgewählt, da er überwiegend aus trabekulärem Knochengewebe (70 bis 90 %) besteht und leicht zugänglich ist.

In einem Frequenzbereich von 0,25 bis 1,25 MHz werden Ultraschallwellen eingesetzt, die sich im Knochen ausbreiten und durch die physikalischen Eigenschaften des Knochens in ihrer Form, Intensität und Geschwindigkeit beeinflusst werden. Die Charakterisierung des Knochens erfolgt durch die Messung der Ultraschall-Geschwindigkeit (speed of sound, SOS [m/s]) und der Breitband-Ultraschall-Abschwächung (broadband ultrasound attenuation, BUA [dB/MHz]) (Barkmann und Glüer 2006, Hadji et al. 2001a, Hans et al. 1997, Njeh et al. 1997). Dabei wird die transversale Transmission eingesetzt (Vgl. Abbildung 3-1 S. 64): Ein Transducer auf einer Seite der Ferse dient als Transmitter. Er wandelt elektrische Signale in Ultraschallwellen um und sendet diese aus. Auf der gegenüberliegenden Seite der Ferse werden die Schallwellen von einem Transducer, der als Receiver operiert und sich in einem festen Abstand zur Ferse befindet, empfangen und in ein elektrisches Signal umgewandelt, nachdem diese das Kopplungsmedium und die Ferse durchdrungen haben (Barkmann und Glüer 2006, Damilakis et al. 2007a, Kann 2001).

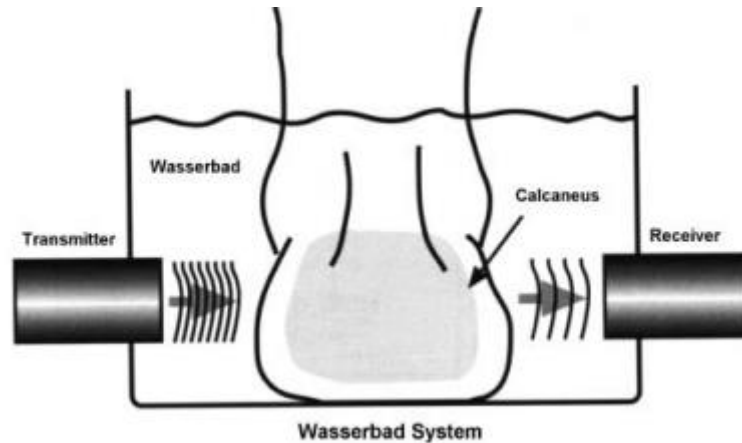


Abbildung 3-1: Technik der QUS am Calcaneus mittels Quertransmission

(„With permission of Springer Science+Business Media“: *Reproduktionsmedizin*, October 2001, Volume 17, Issue 5, pp 261-270, **Osteodensitometrie: Quo vadis?**, P. Hadji, K. Bock, C. Wüster, G. Emons, M. Gottschalk, K.-D. Schulz, Abb. 6 S. 265, © Springer-Verlag 2001)

Als Kopplungsmedium zwischen Ultraschall und Calcaneus dient warmes Wasser mit einer konstanten Temperatur, das zwischen zwei aufgepumpten Membranen eingeschlossen ist.

Das bildgebende QUS-Gerät misst die SOS und BUA innerhalb einer Zielregion (*region of interest*, ROI) mithilfe eines Bildes. Dies ermöglicht die korrekte anatomische Platzierung des Fußes in der ROI, um zu verhindern, dass unterschiedliche Regionen gemessen werden (Barkmann und Glüer 2006, Barkmann et al. 2007, Damilakis et al. 2007a, Glüer et al. 1999, Hadji et al. 2001b, Hans et al. 1997, Njeh et al. 1997).

3.2.1.2 Messparameter der quantitativen Ultrasonometrie

Die Ultraschall-Geschwindigkeit (1) und Breitbandultraschall-Abschwächung (2) werden gemessen und der Steifigkeitsindex (3) aus den Messergebnissen nach der Formel vom Hersteller berechnet.

1) Ultraschall-Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit einer Ultraschallwelle ergibt sich aus den Eigenschaften des Knochens, des Weichteilgewebes darum herum und einer Vorlaufstrecke aus Wasser. Sie ist von den physikalischen Eigenschaften des durchdrungenen Mediums sowie von der Ausbreitungsart und -weise einer Ultraschallwelle abhängig. Longitudinale Wellen entstehen in Flüssigkeiten und Gasen, bei Feststoffen können auch transversale Wellen entstehen, besonders bei Materialien mit einem hohen Elastizitätsmodul (z. B. Knochen) (Hans et al. 1997, Njeh et al. 1997, Njeh et al. 2001).

Die Beziehung zwischen SOS und den physikalischen Eigenschaften des Mediums kann anhand der folgenden Gleichung abgeschätzt werden (Hans et al. 1997, Njeh et al. 1997, Njeh et al. 2001):

Formel 3-1: Beziehung zwischen SOS und den physikalischen Eigenschaften des Mediums

$$\text{SOS} = \sqrt{E/\rho}$$

SOS = Ultraschall-Geschwindigkeit [m/s], E = Elastizitätsmodul [N/m²], ρ = Dichte [kg/m³]

Nach dieser Gleichung besteht ein Zusammenhang zwischen SOS und der Dichte sowie dem Elastizitätsmodul des Knochens. Im trabekulären Knochen, der ein anisotropes, dispersives und heterogenes Medium darstellt, kann eine Beziehung zwischen der SOS und den physikalischen Eigenschaften des Knochens annäherungsweise hergestellt werden. Da der Elastizitätsmodul des Knochens ebenfalls von der Dichte und Struktur des Knochens abhängig ist, besteht zwischen der SOS und der Dichte sowie der Struktur des Knochens ein Zusammenhang. Somit spiegelt die SOS die Materialeigenschaften des Knochens wider (Gonnelli und Cepollaro 2002, Hans et al. 1997, Njeh et al. 1997, Njeh et al. 2001).

SOS wird aus dem Quotient von Transitstrecke in Metern und die für diese Strecke benötigte Transitzeit in Sekunden einer Ultraschallwelle (Einheit: m/s) berechnet. Empfohlen wird die Anwendung der *time of flight velocity* (TOF) bei QUS-Geräten, die ein Wasserbad als Kopplungsmedium benutzen (Miller et al. 1993).

Die SOS gibt die Zeitdifferenz zwischen der Transitzeit einer Ultraschallwelle im Wasserbad mit und ohne Ferse unter Berücksichtigung des konstanten Abstands der beiden Transducer im Wasserbad sowie der Fersendicke an. Dabei wird eine konstante, vom Hersteller festgelegte Fersendicke verwendet. Abweichungen davon können die Messergebnisse beeinflussen. Möglicherweise scheint die SOS nicht durch die Fersendicke per se beeinflusst zu werden, sondern durch die Dicke und Zusammensetzung des Weichgewebes, das den Calcaneus umgibt. In Studien konnte gezeigt werden, dass SOS mit der BMD korreliert, die mittels DXA erfasst wurde. Die Ultraschallgeschwindigkeit ist eine Funktion des kürzesten Schallweges durch den Knochen, der wiederum von der Vernetzung der trabekulären Strukturen im Knochen abhängt. Ein dichter Knochen bietet dem Schall den kürzeren Weg an. Somit werden höhere SOS-Werte ermittelt als bei Knochen mit einer niedrigeren Dichte (Chappard et al. 2000, Cheng et al. 2002, Hans et al. 1995, Häusler et al. 1997, Kann 2001, Kotzki et al. 1994, Njeh et al. 1997, Töyräs et al. 1999, Wu et al. 1995).

2) Breitbandultraschall-Abschwächung

Werden Ultraschallwellen mit einem breiten Frequenzspektrum durch Knochengewebe gesandt, kommt es zu einem Verlust an Schallenergie bzw. einer Abnahme der Intensität. Die Abschwächung ist von der Frequenz des Ultraschalls und den physikalischen Eigenschaften des durchdrungenen Mediums wie der Dicke des untersuchten Skelettareals abhängig (Njeh et al. 1997). Sie wird durch verschiedene Mechanismen wie Beugung, Streuung, Brechung oder Absorption der Ultraschallwellen verursacht.

Im trabekulären Knochen ist sie überwiegend auf Streuung und im kortikalen Knochen eher auf Absorption zurückzuführen. Partikel des zu durchdringenden Mediums nehmen bei der Streuung Teile der Schallenergie auf und geben diese in alle Richtungen ab. Dabei ist das Ausmaß der Streuung von verschiedenen Faktoren wie Ultraschallwellenlänge, der Schallkernimpedanz der streuenden Partikel und von Knochenstrukturparametern wie Anzahl, Größe und Form der streuenden Partikel abhängig. Bei der Absorption wird die Schallenergie durch innere Reibung des Mediums in Wärmeenergie umgewandelt. Sie ist von der molekularen Zusammensetzung des Mediums sowie der Ultraschallfrequenz abhängig.

Aufgrund der komplexen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Mechanismen, die die Abschwächung verursachen, wurde bisher noch kein zuverlässiger theoretischer Zusammenhang zwischen der Ultraschallabschwächung und den physikalischen Eigenschaften des trabekulären Knochens etabliert. Sowohl die BMD als auch die Struktur des Knochens tragen zur Abschwächung bei.

Es wird angenommen, dass der Knochen als frequenzselektiver Filter agiert, das heißt, dass Ultraschall mit höherer Frequenz stärker abgeschwächt wird als Ultraschall mit einer niedrigen Frequenz (Barkmann und Glüer 2006, Glüer et al. 1999, Gonnelli und Cepollaro 2002, Hans et al. 1997, Kann 2001, Langton und Njeh 1998, Njeh et al. 1997, Njeh et al. 2001).

Die BUA wird meist als Flächendichteparameter angegeben, das heißt dass der Durchmesser der gemessenen Fläche (= Transducer) bekannt ist, aber nicht die Dicke bzw. das Volumen der Knochenprobe. In vivo konnte in mehreren Studien gezeigt werden, dass die Knochendicke bzw. Fersendicke die BUA nicht signifikant beeinflusst. In vitro konnte dies allerdings deutlich gezeigt werden. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Einfluss im klinischen Rahmen unbedeutend zu sein scheint (Kann 2001, Kotzki et al. 1994, Njeh et al. 1997, Töyräs et al. 1999, Wu et al. 1995).

Die BUA wird im Transmissionsverfahren nach der Substitutionsmethode gemessen. Hierbei wird der Anstieg der Schallabschwächung als Funktion der Frequenz bestimmt, indem das Amplitudenspektrum einer Breitband-Ultraschallwelle durch ein Referenzmedium mit dem Amplitudenspektrum der Breitband-Ultraschallwelle durch die Knochenprobe im Referenzmedium verglichen wird. Somit ergibt sich die BUA als Steigung der Regressionsgeraden des Differenzspektrums und wird in dB/MHz angegeben (Hans et al. 1997, Njeh et al. 1997).

3) Steifigkeitsindex

Ein für die klinische Praxis aussagekräftigerer Parameter ist ein aus SOS und BUA kombinierter Index, der eine bessere Präzision gegenüber den einzelnen Parametern aufweisen soll. Dieser abgeleitete Parameter soll weniger stark von der Fußtemperatur und Ödemen abhängig sein als SOS und BUA (Bakrmann und Glüer 2006, Lunar Corporation o. J., Nicholson und Bouxsein 2002, Pocock et al. 2000).

Dieser Parameter wird von der Lunar Corporation als Steifigkeitsindex (stiffness-index, SI) bezeichnet, der nicht der biomechanischen Definition von Steifigkeit (Elastizitätsmodul) entspricht.

3.2.1.3 Durchführung der QUS

Die Messungen mittels QUS wurden mit dem Achilles InSight Ultrasonometer (Lunar Corporation, Solingen, Deutschland) unter Verwendung der gerätespezifischen Software am linken Calcaneus der Probanden durchgeführt (Vgl. Abbildung 3-2). Bei bereits bekannten Frakturen oder Verletzungen am linken Calcaneus oder des Beins wurde der rechte gemessen.



Abbildung 3-2: Lunar Achilles InSight Ultrasonometer

(„With permission of Springer Science+Business Media“: *Der Radiologe*, October 2006, Volume 46, Issue 10, pp 861-869, **Quantitativer Ultraschall**, Dr. R. Bakrmann, C.-C. Glüer, Abb. 2 S. 862, © Springer Medizin Verlag 2006)

Dieses QUS-Gerät misst SOS und BUA zeitgleich bei einer mittleren Frequenz der Ultraschallwellen von 0,5 MHz mit dem Quertransmissionsverfahren. Laut Herstellerangaben wird SOS in vivo mit einem Präzisionsfehler von ± 4 m/s und BUA von ± 2 dB/MHz gemessen. Der SI wird nach folgender Formel vom Hersteller berechnet und wird mit einer Messgenauigkeit von ± 2 angegeben (Lunar Corporation o. J.):

Formel 3-2: Berechnung des Steifigkeitsindex (SI)

$$\text{Steifigkeitsindex (SI)} = (0,67 * \text{BUA} + 0,28 * \text{SOS}) - 420$$

BUA = Breitbandultraschall-Abschwächung; SOS = Ultraschall-Geschwindigkeit
(Quelle: Lunar Corporation o. J.)

Der Schüler bzw. die Schülerin nimmt für die Messung auf einem Stuhl vor dem Achilles InSight-Gerät Platz. Bevor der Proband seinen Fuß in der Fußstütze mittig positioniert, werden sowohl der Calcaneus als auch die Membranen mit einer 70 %-igen Isopropanyl-Lösung eingesprüht. Der Fuß wird mit einer Zehenklemme fixiert. Fuß, Knie, Hüfte und Schulter bilden eine gerade Linie. Dann füllen sich die Membranen mit 37 °C warmem Wasser, und die Messung beginnt. Während der Messung sitzt der Proband aufrecht, ruhig und entspannt bis zum Ende der Messung. Danach entleeren sich die Membranen.

Einmal pro Woche wurde eine Qualitätskontrolle mit einem für das Gerät standardisierten Phantom vorgenommen.

3.2.1.4 Präzision der QUS

Um Veränderungen der Knochenmasse im Altersverlauf oder beim Therapiemonitoring erkennen zu können, ist es erforderlich, dass osteodensitometrische Methoden die Knochenmasse bzw. die BMD oder die QUS-Parameter präzise bestimmen können. Um eine osteodensitometrische Methode diesbezüglich beurteilen zu können, ist die Bestimmung des Präzisionsfehlers erforderlich (Glüer et al. 1995, Njeh et al. 2000). Eine einzelne Messung mit einer osteodensitometrischen Methode wird ebenso durch die Präzision beeinflusst, da das Messergebnis (BUA, SOS) mit einer durch den Präzisionsfehler bedingten statistischen Unsicherheit versehen ist. Dies kann zu einer unsicheren Diagnosestellung (z. B. Osteoporose ja/nein) führen (Kiebzak et al. 2007).

Zur Beurteilung der Präzision der QUS-Messung werden die Variationskoeffizienten (CV) für die verschiedenen Parameter aus der Literatur angegeben (Vgl. Tabelle 3-2).

Nur die Studien wurden berücksichtigt, in denen das gleiche Gerät (Achilles Insight) wie in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde.

Es konnte gezeigt werden, dass die Präzision der calcanealen QUS-Messung durch das verwendete QUS-Gerät (Kopplungsmedium: Wasser vs. Gel; Messtechnik: bildgebend vs. nichtbildgebend; Hersteller etc.) beeinflusst werden kann (Alenfeld et al. 2002, Falgarone et al. 2004, Frost et al. 2000, Greenspan et al. 1997, Hartl et al. 2002, Nguyen et al. 2003, Njeh et al. 2000, Stewart und Reid 2000).

Die CVs reichen von 1,8-3,0 % für die BUA, von 0,4-2,67 % für die SOS und von 1,19-2,1 % für den SI (Cepollaro et al. 2005, Damilakis et al. 2007b, Jin et al. 2010) (Vgl. Tabelle 3-2).

Es kann keine Verbesserung der Präzision durch den SI im Vergleich zur SOS und BUA alleine, wie es laut Herstellerangaben beschrieben wird, festgestellt werden.

Tabelle 3-2: Studienergebnisse zur Präzision des QUS-Gerätes Achilles Insight

Autor	Probanden	Messbedingung	CV (%)		
			BUA	SOS	SI
Cepollaro et al. (2005)	k. A.	k. A.	3,0	0,4	2,1
Damilakis et al. (2007b)	2 Kollektive (n = 32), gesunde postmenopausale und postmenopausale Frauen mit Hüftfrakturen	5 Messungen an einem Tag	1,80	2,39	1,38
			2,32	2,67	1,69
Jin et al. (2010)	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	1,19-2,04

(Quelle: eigene Darstellung)

Die beschriebenen Präzisionsfehler in der Literatur können als niedrig eingestuft werden. Somit ist eine präzise Bestimmung der QUS-Parameter mit dem Achilles Insight-Gerät möglich.

3.2.2 Bioelektrische Impedanzanalyse zur Bestimmung der Körperzusammensetzung

3.2.2.1 Prinzip der Bioelektrischen Impedanzanalyse

Die BIA beruht auf der Annahme, dass elektrischer Strom bzw. Wechselstrom im menschlichen Körper durch die im Körperwasser gelösten Elektrolyte geleitet wird, wobei die Fettmasse dem Strom einen Widerstand (Impedanz) entgegensetzt. Die Impedanz des Körpers steht daher im direkten Zusammenhang mit dem Körperwasser, dessen Menge wiederum von der fettfreien Masse abhängt (Hills et al. 2001, Kushner 1992, Kushner und Schoeller 1986, Lukaski 1987, 1996, Segal et al. 1985).

Physikalisch gesehen, wird unter Impedanz der frequenzabhängige Widerstand verstanden, den ein Leiter einem elektrischen Wechselstrom entgegensetzt. Die Impedanz setzt sich aus zwei Vektoren, der Resistanz (RE) und Reaktanz (Xc) zusammen (Baumgartner et al. 1990, Lukaski 1987, 1996, Lukaski et al. 1985).

Dabei ist die Resistanz definiert als der reine Widerstand, den ein Leiter einem fließenden Wechselstrom entgegensetzt und die Reaktanz (kapazitiver Anteil), der durch die Ladefähigkeit oder Spannungsspeicherung eines Kondensators entsteht. Im Organismus wird die Resistanz durch zelluläre Bestandteile wie die Fettmasse oder Knochen verursacht. Die Reaktanz wird durch den kapazitiven Effekt der Zellmembranen und der Gewebezwischenräume hervorgerufen (Baumgartner et al. 1988, Lukaski 1996).

Damit das physikalische Prinzip bei der Bestimmung der Körperzusammensetzung mittels der BIA angewendet werden kann, wird der Körper modellhaft als ein einfacher geometrischer Leiter angesehen (Baumgartner et al. 1990, Houtkooper et al. 1996, Kushner 1992). In diesem geometrischen System ist die Impedanz von der Länge und der Konfiguration des Leiters, seiner Querschnittsfläche und der Signalfrequenz abhängig, wobei angenommen wird, dass die Signalfrequenz und die Leiterkonfiguration konstant sind (Hoffer et al. 1969, Kushner 1992, Lukaski 1987, Lukaski et al. 1986, Lukaski et al. 1985). Formel 3-3 beschreibt diesen Zusammenhang folgendermaßen:

Formel 3-3: Impedanz eines Leiters in Beziehung zu Länge und Querschnittsfläche

$$Z = \rho L/A$$

Z = Impedanz [Ω], ρ = Spezifischer Widerstand [Ωcm], L = Länge [cm]; A = Querschnittsfläche [cm^2]

Das Volumen eines Leiters ergibt sich aus dem Produkt der Querschnittsfläche und Länge ($V = AL$). Formel 3-3 wird nun mit L/L multipliziert und das Produkt aus der Querschnittsfläche A und Länge L kann durch das Volumen des Leiters ersetzt werden. Das Volumen des Leiters ist somit eine Funktion des spezifischen Widerstandes, der Länge und der Impedanz eines Leiters (Hoffer et al. 1969, Kushner 1992, Lukaski 1987, Lukaski et al. 1986, Lukaski et al. 1985):

Formel 3-4: Volumen eines Leiters in Beziehung zu Länge und Impedanz

$$V = \rho L^2 / Z$$

V = Volumen [cm^3], ρ = Spezifischer Widerstand [Ωcm], L = Länge [cm]; Z = Impedanz [Ω]

Die Impedanz Z in Formel 3-4 sollte durch die Resistanz ersetzt werden, da die Resistanz im Vergleich zur Reaktanz die Impedanz besser widerspiegelt und zur Berechnung der fettfreien Masse geeigneter ist (Kushner und Schoeller 1986, Lukaski 1987, Lukaski et al. 1985). Lukaski et al. (1985) zeigten in ihrer Untersuchung, dass die Resistanz stärker mit der fettfreien Masse und dem Gesamtkörperwasser korreliert als die Reaktanz. Zudem konnten sie zeigen, dass die Resistanz stärker mit der Impedanz korreliert ($r = 0,99$; $p < 0,0001$) als die Reaktanz mit der Impedanz ($r = 0,70$; $p < 0,001$).

Auch wenn die Geometrie des menschlichen Organismus eher einer Serie von fünf Zylindern (zwei Arme, zwei Beine und Rumpf) entspricht, wird das Prinzip auf den Menschen übertragen. Es bildet somit die theoretische Grundlage für das Aufstellen von Regressionsgleichungen, um die Körperzusammensetzung anhand der Messergebnisse der bioelektrischen Impedanzanalyse zu berechnen (Hoffer et al. 1969, Kushner 1992, Lukaski et al. 1986, Organ et al. 1994, Schoeller 2000).

Aus der Literatur sind zahlreiche Gleichungen zur Berechnung der fettfreien Masse und Fettmasse aus den Messwerten der BIA bekannt. Für die Vorauswahl wurden zunächst verschiedene Gleichungen zur Berechnung der fettfreien Masse herangezogen, die für Kinder und Jugendliche entwickelt und in der Literatur beschrieben worden sind. Nur Gleichungen wurden ausgewählt, die folgende Kriterien erfüllen:

- 1) Das Kollektiv soll gesunde Jungen und Mädchen der Altersgruppe 10 bis 18 beinhalten.
- 2) Das Kollektiv soll ausreichend groß sein (mindestens 50 Probanden).
- 3) Die entwickelte Gleichung sollte mit einer geeigneten Referenzmethode (Densitometrie, Verdünnungstechniken, ^{40}K -Ganzkörperzählung, Neutronenaktivierung, DXA, Computertomographie und Magnetresonanztomographie) bei der Bestimmung der Körperzusammensetzung validiert worden sein.

Somit wurden sieben Gleichungen zur Ermittlung der fettfreien Masse aus der Literatur ausgewählt sowie die Software des Geräteherstellers (Data Input) verwendet. Anhand dieser Gleichungen wird die fettfreie Masse berechnet. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Kapitel 4.2.1 (S. 115) dargestellt. Die Auswahl und Begründung einer geeigneten Gleichung, die in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde, wird in Kapitel 5.2.1 (S. 153) diskutiert. Die verwendeten Gleichungen sind in Tabelle 3-3 (S. 73) dargestellt.

Tabelle 3-3: Gleichungen zur Berechnung der Fettmasse von Kindern und Jugendlichen anhand der bioelektrischen Impedanzanalyse

Quelle	Abkürzung	Gleichung
Data Input	FFM-DataInput	Gleichung unbekannt
Deurenberg et al. (1990)	FFM-De1 [#]	Jungen (10-15 J): $FFM = 0,488 * 10^4 * (KH^2/RE) + 0,221 * KG + 12,77 * KH - 14,7$
		Jungen (≥ 16 J): $FFM = 0,258 * 10^4 * (KH^2/RE) + 0,375 * KG + 6,3 * S + 10,50 * KH - 0,164 * A - 6,5$
		Mädchen (10-12 J): $FFM = 0,488 * 10^4 * (KH^2/RE) + 0,221 * KG + 12,77 * KH - 14,7$
		Mädchen (≥ 13 J): $FFM = 0,258 * 10^4 * (KH^2/RE) + 0,375 * KG + 6,3 * S + 10,50 * KH - 0,164 * A - 6,5$
	FFM-De2 [#]	$FFM = 0,438 * 10^4 * (KH^2/RE) + 0,308 * KG + 1,6 * S + 7,04 * KH - 8,5$
Deurenberg et al. (1991)	FFM-De3 [#]	≤ 15 J: $FFM = 0,406 * 10^4 * (KH^2/RE) + 0,360 * KG + 5,58 * KH + 0,56 * S - 6,48$
		≥ 16 J: $FFM = 0,340 * 10^4 * (KH^2/RE) + 0,273 * KG + 15,34 * KH - 0,127 * A + 4,56 * S - 12,44$
Horlick et al. (2002)	FFM-Ho	$FFM = [3,474 + 0,459 * (KH^2/RE) + 0,064 * KG] / [0,769 - 0,009 * A - 0,016 * S]$
Plachta-Danielzik et al. (2012)	FFM-PI	$FFM = 0,66 * (KH^2/RE) + 0,196 * KG + 0,157 * Xc + 0,348 * A - 12,083$
Schaefer et al. (1994)	FFM-Sc	$FFM = 0,65 * (KH^2/RE) + 0,68 * A + 0,15$
Suprasongsin et al. (1995)	FFM-Su	$FFM = 0,524 * (KH^2/RE) + 0,415 * KG - 0,32$

FFM = Fettfreie Masse [kg], KH = Körpergröße [cm], RE = Resistanz [Ω], KG = Körpergewicht [kg], S = Geschlecht (Jungen = 1, Mädchen = 0), A = Alter [J], Xc = Reaktanz [Ω]

[#] = links gemessen; KH = Körpergröße in [m]

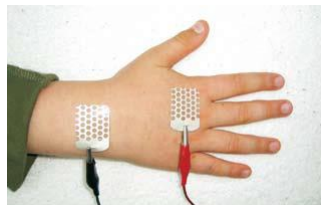
3.2.2.2 Durchführung der BIA

Die Messung wird mit einem Body Composition Analyser BIA 2000 – S (Data Input GmbH, Germany) unter Verwendung von BIANOSTIC AT® Einmalelektroden der gleichen Firma durchgeführt. Als Maß für den Gesamtwiderstand und den kapazitiven Widerstand werden die Resistanz (RE) und die Reaktanz (Xc) im Messintervall von einem Ohm bei einer Stromstärke von 800 μ A und einer Frequenz von 50 kHz ermittelt.

Die Messung erfolgte morgens. Der Schüler bzw. die Schülerin liegt entspannt horizontal auf dem Rücken. Die Beine und Arme werden so positioniert, dass sie vom Körper im Winkel von etwa 45 ° abgespreizt werden. Die Messung erfolgt stets auf der rechten Körperseite, um eine einheitliche Gewinnung sowie die Vergleichbarkeit der Daten zu sichern. Die rechte Hand und der rechte Fuß werden vor der Befestigung der Gelelektroden mit einem Desinfektionsmittel gereinigt, damit die Haut möglichst fettfrei und trocken ist. In Anlehnung an Lukaski et al. (1985) werden die Elektroden wie folgt platziert:

- 1) Die Signalelektrode wird an der rechten Hand unmittelbar hinter einer Linie, die durch die Mitte der Grundgelenke von Zeige- und Mittelfinger läuft, geklebt. Der Rand der Messelektrode wird anhand der Horizontallinie durch den höchsten Punkt des Ulnaköpfchens geklebt (Vgl. Abbildung 3-3 A).
- 2) Am rechten Fuß werden die Signalelektrode unmittelbar hinter dem mittleren Zeh und die Messelektrode auf der Höhe der Horizontallinie durch den Innenknöchel angebracht (Vgl. Abbildung 3-3 B).
- 3) Das Messkabel, welches aus zwei Doppelkabeln besteht, endet in einer Krokodilklemme. Dabei werden die roten Klemmen an die Signalelektroden (fingernah und zehnah) und die schwarzen Klemmen an die Messelektroden angeschlossen (Knöchelbereich und Handgelenkbereich) (Abbildung 3-3).

(A)



(B)

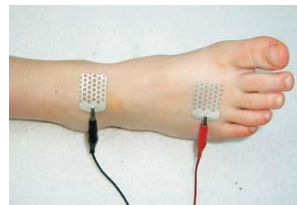


Abbildung 3-3: Elektrodenplatzierung bei Kindern

(A) Hand, (B) Fuß

(Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Data Input: BIA Kompendium, Data Input 2007, Abb. J5 S. 46)

Die Berechnung erfolgt mittels der Formel von Plachta-Danielzik et al. (2012).

Die Fettmasse wird durch die Differenz zwischen Körpergewicht und FFM bestimmt.

3.2.2.3 Präzision der BIA

Laut Gerätehersteller liegt die Messgenauigkeit der Resistanz bei $\pm 0,5 \%$ vom Messwert und bei der Reaktanz $\pm 2,0 \%$ vom Messwert Data-Input GmbH (o. J.).

In der Literatur werden keine Angaben zur Präzision des BIA-Gerätes beschrieben.

3.2.3 Anthropometrie

Die Messung des Körpergewichts erfolgt mittels einer geeichten elektronischen Waage (seca 877, Hamburg) auf 0,1 kg genau. Die Studienteilnehmer stellen sich für die Messung leicht bekleidet und ohne Schuhe auf die Waage. Für die Kleidung wird je nach Schwere anschließend 0,5 bis 1 kg vom gemessenen Körpergewicht abgezogen.

Die Körperhöhe wird standardisiert mithilfe eines Maßbandes ohne Schuhe auf 0,5 cm genau gemessen. Die Probanden stehen dabei aufrecht, mit geradeaus gerichtetem Blick.

Aus den Daten zum Körpergewicht und zur Körperhöhe wird der Body Mass Index (BMI) anhand folgender Formel berechnet:

Formel 3-5: Berechnung Body Mass Index

$$\text{BMI [kg/m}^2\text{]} = \text{KG/KH}^2$$

BMI = Body Mass Index [kg/m²], KG = Körpergewicht [kg], KH = Körperhöhe [m]

Anhand der alters- und geschlechtsspezifischen BMI-Perzentilen für deutsche Kinder und Jugendliche erfolgt die Einteilung in starkes Untergewicht (Kinder und Jugendliche unter der 3. Perzentile), Untergewicht (Kinder und Jugendliche unter der 10. Perzentile), Normalgewicht (Kinder und Jugendliche zwischen der 10. und 90. Perzentile), Übergewicht (Kinder und Jugendliche über der 90. Perzentile) und Adipositas (Kinder und Jugendliche über der 97. Perzentile) (Kromeyer-Hauschild et al. 2001).

3.2.4 Ernährung

3.2.4.1 Lebensmittelverzehr

Für diese Arbeit wurden nur Lebensmittel aus dem standardisierten Verzehrhäufigkeitsfragebogen „Was isst du?“³ (Mensink und Burger 2004) ausgewählt, die laut Literatur einen positiven bzw. negativen Einfluss auf den Aufbau und Erhalt der Knochenmasse im Kindes- und Jugendalter haben (Vgl. 2.2.1 S 20 - 34). Die ausgewählten Lebensmittel spiegeln die Hauptquellen der Nährstoffe wie Calcium, Vitamin D, Protein, Phosphat sowie der Energie wider, die bei EsKiMo (Mensink et al. 2007b) für die 10- bis 17-jährigen Jungen und Mädchen ermittelt wurden.

Sowohl für die Häufigkeit als auch für die Portionsmenge der einzelnen Lebensmittel waren Antwortkategorien vorgegeben. Die Antwortkategorien für die Verzehrhäufigkeiten waren für jede Lebensmittelgruppe in gleicher Weise angegeben (nie, 1-mal im Monat, 2- bis 3-mal im Monat, 1- bis 2-mal pro Woche, 3- bis 4-mal pro Woche, 5- bis 6-mal pro Woche, 1-mal am Tag, 2- bis 3-mal am Tag, 4- bis 5-mal am Tag, öfter als 5-mal am Tag). Die Portionsmengen wurden je nach Lebensmittel unterschiedlich erfragt (z. B. $\frac{1}{4}$ Portion oder weniger, $\frac{1}{2}$ Portion, 1 Portion, 2 Portionen, 3 Portionen oder mehr). Für alle Lebensmittellitems waren fünf Kategorien vorgegeben. Als Hilfestellung für die Einschätzung der Portionsmengen wurden haushaltsübliche Mengen (Esslöffel, Glas, Becher) und die Hand als Portionsmaß angegeben.

1) Berechnung der Verzehrmenngen

Um aus den vorliegenden Angaben mittlere tägliche Verzehrmenngen berechnen zu können, werden die Portionsmengen mit der Verzehrhäufigkeit kombiniert. Zunächst werden dafür die Häufigkeiten in Tage bzw. Gelegenheiten pro 4 Wochen (28 Tage) nach dem folgenden Schema umgerechnet (Vgl. Tabelle 3-4 S. 77):

³ Bei dem standardisierten Ernährungsfragebogen „Was isst du?“ (Mensink und Burger 2004) werden retrospektiv die durchschnittlichen Verzehrhäufigkeiten und Portionsmengen „in den letzten Wochen“ verschiedener Lebensmittelgruppen erfasst. Dieser in KiGGS (2003 – 2006) eingesetzte Fragebogen, bei dem etwa 50 Lebensmittelgruppen erfragt wurden, wurde von 15945 KiGGS-Teilnehmern und –nehmerinnen ausgefüllt. Bei den 1- bis 10-jährigen Kindern beantworteten die Eltern den Fragebogen, die 11- bis 17-jährigen füllten ihn selber aus (Mensink et al. 2007a).

Tabelle 3-4: Umrechnung der Verzehrhäufigkeiten

Kategorie	Häufigkeit	Wert/Umrechnungsfaktor
Kategorie 1	nie	0
Kategorie 2	1 mal im Monat	1
Kategorie 3	2-3 mal im Monat	2,5
Kategorie 4	1-2 mal pro Woche	6
Kategorie 5	3-4 mal pro Woche	14
Kategorie 6	5-6 mal pro Woche	22
Kategorie 7	1 mal am Tag	28
Kategorie 8	2-3 mal am Tag	70
Kategorie 9	4-5 mal am Tag	126
Kategorie 10	Öfter als 5 mal am Tag	168

(Quelle: RKI Dezember/2008)

Im zweiten Schritt erfolgt die Umrechnung der Portionsmenge in die Verzehrmenge jedes Lebensmittelitems, wobei die mittlere Antwortkategorie der Portionsmenge (Antwortkategorie 3) für die jeweils mittlere Grammmenge verwendet wird (Vgl. Tabelle 3-5).

Tabelle 3-5: Portionsmengen für die Berechnung der Verzehrmenen

Lebensmittelgruppe	Mittlere Antwortkategorie (Kategorie 3)	Menge für die mittlere Angabe [g]
Milch und Milchprodukte	1 Glas (200 mL) bzw. 1 Becher (200 g)	200
Käse	1 Scheibe/1 Portion	30
Friskkäse	2 Esslöffel	30
Limonaden/Energiegetränke	1 Glas (200 mL)	200
Kaffee, schwarzer/grüner Tee	1 Tasse (150 mL)	150
Brot, Brötchen	1 Scheibe, 1 Brötchen	50
Fleisch (Fleisch, Geflügel)	½ Portion (Mittelwert der Portionsgrößen)	67,5
Wurst, Schinken	1 Scheibe	20
Fisch	1 Portion	90
Obst (frisch, gekocht, tiefgekühlt, Konservenobst)	1 Stück, 1 Portion	150

Lebensmittelgruppe	Mittlere Antwortkategorie (Kategorie 3)	Menge für die mittlere Angabe [g]
Gemüse (frisch, tiefgekühlt, Konservengemüse), Blattsalat, Rohkost, rohes Gemüse	1 Portion (Mittelwert der Portionsgrößen)	$(150+150+150+100) / 4 = 137,5$
Süßigkeiten (Schokolade, Schokoriegel, Kuchen, Gebäck, Kekse, Bonbons, Fruchtgummi)	1 Portion (Mittelwert der Portionsgrößen)	$(100+15+50+16) / 4 = 45,25$
Knabberartikel (Chips, Salzstangen, Cracker)	1 Portion, 1 Schale	50

(Quelle: RKI 2008b)

Anhand der Wertelabels der Portionen bzw. Angaben direkt aus dem Fragebogen lassen sich hieraus die Mengen für die anderen Portionskategorien ableiten, wobei diese nicht bei jedem Lebensmittel einheitlich sind. Die Angaben „oder weniger“ bzw. „oder mehr“ werden nicht berücksichtigt.

Für die Portionsmengen von Fleisch würde dies bedeuten (Vgl. Tabelle 3-6):

Tabelle 3-6: Umrechnung der Portionsmenge in Verzehrmenge [g] am Beispiel von Fleisch

Antwortkategorie der Portionsmenge	Portion	Menge [g]
Kategorie 0 ¹	0	0
Kategorie 1	1/8 Portion oder weniger	16,875
Kategorie 2	¼ Portion	33,75
Kategorie 3	½ Portion	67,5
Kategorie 4	1 Portion	135
Kategorie 5	2 Portionen oder mehr	270

¹ Wenn bei der Verzehrhäufigkeit mit „nie“ geantwortet wurde, wird die Portionsmenge entsprechend mit 0 kodiert

(Quelle: RKI 2008b)

Die mittlere Tagesmenge eines Lebensmittels errechnet sich dann anhand folgender Formel:

Formel 3-6: Berechnung der mittleren Tagesmenge eines Lebensmittels

$$\text{Mittlere Tagesmenge [g/d]} = \text{Portionsmenge [g]} * \text{Häufigkeit/28}$$

(Quelle: RKI 2008b)

3.2.4.2 Index für eine knochengesunde Ernährung

Die erfragten Lebensmittel werden zunächst in verschiedene Lebensmittelgruppen zusammengefasst. Um die täglichen Verzehrmenen der Lebensmittelgruppen zu erhalten, werden die jeweiligen Verzehrmenen aufsummiert. In Kapitel 3.2.4.1 (S. 76) wird beschrieben, wie die täglichen mittleren Verzehrmenen der erfragten Lebensmittel berechnet werden. In Tabelle 3-7 sind die Lebensmittel dargestellt, die zur Entwicklung des Index für eine knochengesunde Ernährung (BHEI) herangezogen wurden. Aus 13 einzelnen Lebensmitteln werden acht verschiedene Lebensmittelgruppen gebildet.

Tabelle 3-7: Lebensmittelgruppierung

Lebensmittel	Lebensmittelgruppe
Milch	Milch und -produkte
Käse	
Friskäse	
Brot, Brötchen	Brot
Fleisch	Fleisch- und Wurstwaren
Wurst	
Fisch	Fisch
Obst	Pflanzliche Lebensmittel
Gemüse	
Süßigkeiten	Tolerierte Lebensmittel
Knabberartikel	
Limonaden/Energiegetränke	Softdrinks
Kaffee, schwarzer und grüner Tee	Koffeinhaltige Getränke

(Quelle: eigene Darstellung)

Der Index basiert auf den HuSKY-Index (*healthy nutrition score for kids and youth*), der die aktuell gültigen Ernährungsempfehlungen für eine optimierte Mischkost für Kinder und Jugendliche berücksichtigt (Alexy et al. 2008, FKE 2008, Kleiser et al. 2009). In Tabelle 3-8 sind die derzeitigen Empfehlungen der in den Index einfließenden Lebensmittelgruppen dargestellt. Es existieren nicht für alle Lebensmittel, die in dem Index berücksichtigt werden, Ernährungsempfehlungen des FKE.

Tabelle 3-8: Altersgemäße Lebensmittelverzehrsmengen in der optimierten Mischkost

Alter [J]	10 - 12	13 - 14		15 - 18	
	Jungen und Mädchen	Jungen	Mädchen	Jungen	Mädchen
Reichlicher Verzehr					
Brot (g/d)	250	300	250	350	280
Pflanzliche Lebensmittel (Gemüse und Obst) (g/d)	500	600	520	700	600
Mäßiger Verzehr					
Milch und Milchprodukte (g/d)	420	450	425	500	450
Fleisch- und Wurstwaren (g/d)	60	75	65	85	75
Fisch (g/Woche)	90	100	100	100	100
Sparsamer Verzehr					
Tolerierte Lebensmittel (Süßigkeiten, Knabberartikel (Portionen/d) ¹	1	1	1	1	1
Nicht in den Empfehlungen					
Softdrinks (mL/d)	200	200	200	200	200
Koffeinhaltige Getränke (mL/d)	150	150	150	150	150

¹ Diese Gruppe beinhaltet Süßwaren sowie Knabberartikel. Eine Portion entspricht 47,625 g. Es wurde die mittlere Portionsmenge für Süßigkeiten sowie Knabberartikel ermittelt.

(Quelle: Alexy et al. 2008, FKE 2008)

Anschließend wurde für jede Lebensmittelgruppe der ermittelte Verzehr ins Verhältnis zu den alters- und geschlechtsspezifischen Ernährungsempfehlungen gesetzt:

Formel 3-7: Bestimmung des Verhältnisses von Aufnahme zu Empfehlung

$$I/R_x = \text{Aufnahme der Lebensmittelgruppe } x (I) / \text{Empfehlung der Lebensmittelgruppe } x (R)$$

(Quelle: Kleiser et al. 2009)

Danach werden dem Verhältnis von Aufnahme zu Empfehlung (I/R_x) Punkte zugewiesen, um beurteilen zu können, ob die Schüler und Schülerinnen die Verzehrempfehlungen erreichen bzw. über- oder unterschreiten (Vgl. Tabelle 3-9).

Tabelle 3-9: Zuordnung der Punkte

Lebensmittelgruppe	Zuordnung der Punkte
Pflanzliche Lebensmittel [g/d]	$I/R \leq 1$, proportional Punkte bis 100 $I/R > 1$, 100 Punkte
Fisch [g/Woche]	
Brot [g/d]	$I/R \leq 1$, proportional Punkte bis 100 $I/R > 1$ und ≤ 2 , 100 Punkte $I/R > 2$, Punkte werden proportional von 100 subtrahiert
Milch und Milchprodukte [g/d]	$I/R \leq 1$, proportional Punkte bis 100 $I/R > 1$ und ≤ 2 , Punkte werden proportional von 100 subtrahiert $I/R > 2$, 0 Punkte
Fleisch- und Wurstwaren [g/d]	$I/R \leq 1$, 100 Punkte $I/R > 1$ und ≤ 2 , Punkte werden proportional von 100 subtrahiert $I/R > 2$, 0 Punkte
Tolerierte Lebensmittel [Portionen/d]	
Softdrinks [mL/d]	
Koffeinhaltige Getränke [mL/d]	

(Quelle: Kleiser et al. 2009)

Bei einem Verzehr unter den Empfehlungen wurden für die meisten Lebensmittel (außer Fleisch- und Wurstwaren, tolerierte Lebensmittel, Softdrinks und koffeinhaltige Getränke) proportional Punkte vergeben (z. B. wenn ein Schüler/eine Schülerin 70 % der täglich empfohlenen Verzehrmenge aufnahm, dann wurden 70 Punkte vergeben).

Wenn die Aufnahme genau den Empfehlungen entsprach oder sogar mehr als empfohlen verzehrt wurde, wurden für die Lebensmittelgruppen pflanzliche Lebensmittel (Obst, Gemüse) und Fisch 100 Punkte vergeben.

Auch wenn Fisch ein tierisches Lebensmittel ist, das moderat verzehrt werden sollte, wird es als ein favorisiertes Lebensmittel angesehen, da der Verzehr in Deutschland sehr gering ist (Kleiser et al. 2009).

Genau 100 Punkte wurden bei Brot vergeben, wenn der Verzehr den Empfehlungen entsprach oder bis zu 2-mal mehr der empfohlenen Verzehrmenge aufgenommen wurde. Wenn die empfohlene Verzehrmenge größer als 2-mal so viel war, dann wurden die Punkte proportional von 100 subtrahiert, da das Risiko für eine erhöhte Energiezufuhr steigt (z. B. wenn die Aufnahme 230 % der empfohlenen Menge ist, dann wurden 70 Punkte vergeben). Für Milch und -produkt wurden Punkte proportional von 100 subtrahiert, wenn die Aufnahme über der empfohlenen Menge lag.

Ist der Verzehr der Lebensmittelgruppen Fleisch- und Wurstwaren, tolerierte Lebensmittel, Softdrinks sowie koffeinhaltige Getränke unter oder im Einklang mit den Empfehlungen, wurden 100 Punkte vergeben. Wenn die Aufnahme höher als die Empfehlung war, wurden die Punkte proportional von 100 subtrahiert, da die Aufnahme über den Empfehlungen als nicht positiv zu bewerten ist.

Der BHEI ergibt sich dann aus dem Durchschnitt der Punkte. Er wird nach folgender Formel berechnet:

Formel 3-8: Berechnung des Index für eine knochengesunde Ernährung

$$\text{BHEI} = \sum \text{score}_x / \text{Anzahl der scores}_x$$

(Quelle: eigene Erstellung)

Der BHEI kann Zahlen von 0 bis 100 annehmen, wobei ein höherer BHEI-Wert eine knochengesündere Ernährung darstellt.

Somit vereint der BHEI einen lebensmittelbasierten an Stelle eines nährstoffbasierten Index, der zum einen die aktuellen Empfehlungen und zum anderen die Vielfalt der Ernährung berücksichtigt (Kleiser et al. 2009).

Die Werte des BHEI sind normalverteilt (Kolmogorov-Smirnof-Test, $p = 0,421$). Der Mittelwert des BHEI beträgt 58 mit einem Minimum von 6 und einem Maximum von 99 Punkten. Der Interquartilabstand reicht von 48 bis 68 (Vgl. Anhang A 3-1 S. 250).

3.2.5 Körperlicher Aktivitätslevel

Die Erfassung der aktuellen körperlichen Aktivität erfolgt mit einem von Krems et al. (2004) entwickelten Fragebogen.

Die Schüler und Schülerinnen werden gebeten, im Fragebogen anzugeben, wie viele Stunden sie wöchentlich mit verschiedenen leichten, mittelschweren und schweren sportlichen Aktivitäten verbringen. Weiterhin werden sie befragt, wie viele Stunden sie mit Haus- und Gartenarbeit, Gehen, Fahrradfahren, Spielen im Freien, Hausaufgaben, Medienkonsum wie Fernsehen/DVD, Computer/Internet, Handy und Musik hören sowie Schlafen verbringen. Unter Sonstiges konnten die Schüler und Schülerinnen Aktivitäten aufführen, die sie nicht den aufgelisteten Aktivitäten zuordnen konnten.

Als Maßzahl für die körperliche Aktivität der Kinder und Jugendlichen wird dann der körperliche Aktivitätslevel (physical activity level, PAL) gemäß der Vorgehensweise der WHO (1985) berechnet. Er definiert den durchschnittlichen täglichen Energiebedarf für körperliche Aktivität als ein Mehrfaches des Ruheenergieumsatzes (DGE 2001 S. 25, Torun et al. 1996). Ab einem Alter von 10 Jahren ist diese faktorielle Methode geeignet, da der Ruheenergieumsatz (REU) den größten Anteil am Energiebedarf ausmacht (WHO 1985 S. 93).

Der Ruheenergieumsatz wird nach Müller et al. (2004) wie folgt berechnet:

Formel 3-9: Berechnung des Ruheenergieumsatz (REU) von Kindern und Jugendlichen

$$\text{REU [MJ/d]} = 0,02606 \times \text{Körpergewicht [kg]} + 0,04129 \times \text{Körpergröße [cm]} + 0,311 \times \text{Geschlecht} - 0,08369 \times \text{Alter [J]} - 0,808$$

[weiblich = 0, männlich = 1]

Die Zeiten der im Fragebogen erfragten körperlichen Aktivitäten bzw. Inaktivitäten werden mit den von der WHO (1985 S. 95f) vorgeschlagenen Multiplikatoren für den Ruheenergieumsatz multipliziert (Vgl. Tabelle 3-10 S. 84). Für die Schule wird eine Zeit von 30 Stunden pro Woche angenommen. Die Zeiten für Musik hören und Handybenutzung wurde nicht berücksichtigt, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass diese parallel mit weiteren körperlichen Aktivitäten bzw. Inaktivitäten durchgeführt wurden.

Tabelle 3-10: Multiplikatoren des Grundumsatzes für verschiedene körperliche Aktivitäten

(In-)Aktivitäten		Multiplikatoren des Grundumsatzes	
		Jungen	Mädchen
Schlafen		1,0	1,0
Medienkonsum		1,6	1,4
Schule		1,6	1,5
Hausaufgaben		1,6	1,5
Haus- und Gartenarbeit		2,5	2,2
Spazieren gehen, Fahrrad fahren, draußen Spielen		2,5	2,2
Sportliche Aktivitäten	Leicht	2,5	2,2
	Mittelschwer	2,5	2,2
	Schwer	6,0	6,0
Restzeit		1,4	1,4

(Quelle: WHO 1985 S. 95f)

Zunächst erfolgt die Umrechnung der Zeitangaben für die einzelnen Aktivitäten, die im Fragebogen angegeben wurden, in Minuten pro Tag. Die Differenz zwischen den aufgeführten Aktivitäten bzw. Inaktivitäten und der Dauer eines Tages (24 h) wird als Restzeit definiert. Es ist unklar, welche Aktivitäten in der Restzeit durchgeführt wurden.

Anschließend wird der Energieverbrauch der einzelnen Aktivitäten berechnet, der sich aus der Multiplikation der Zeitangaben für die jeweiligen Aktivitäten mit dem Ruheenergieumsatz und dem entsprechenden Multiplikator ergibt. Die unter sonstige Aktivitäten genannten Aktivitäten wurden den bereits vorhandenen Kategorien für körperliche (In-)Aktivitäten zugeordnet (Vgl. Anhang A 3-2 S. 251).

Durch Addition der einzelnen Komponenten (Energieverbrauch der einzelnen Aktivitäten) ergibt sich der Gesamtenergieumsatz. Der Aktivitätsumsatz ist die Differenz zwischen Gesamtenergieumsatz und Ruheenergieumsatz. Der Quotient aus Gesamtenergieumsatz und Ruheumsatz ergibt dann den PAL-Wert.

3.2.6 Pubertätsstatus

Der Pubertätsstatus wird mit einem von Carskadon und Acebo (1993) entwickelten validierten Fragebogen erfasst. Dabei schätzen die Schüler und Schülerinnen ihre Reifeentwicklung mittels Fragen auf einer Skala selber ein. Die Skala wurde von einer interviewbasierten Form nach Petersen et al. (1988) adaptiert, um in Settings (Schule, Klassenzimmer) und groß angelegten Studien (large-scale-survey) die Reifeentwicklung nicht-invasiv zu erfassen. Das bedeutet, dass weder Bilder bzw. bildliche Darstellungen eingesetzt werden noch visuelle Evaluationen durch Ärzte oder geschulte Personen stattfinden. Die gebildeten Scores werden in Anlehnung an die Tanner-Stadien gebildet. Insgesamt besteht der Fragebogen aus drei geschlechtsunspezifischen und zwei geschlechtsspezifischen Fragen. Sowohl Jungen als auch Mädchen beantworten Fragen zu Größenwachstum, Körperbehaarung unter den Achseln und Hautveränderungen (z. B. Pickel). Zusätzlich werden die Jungen hinsichtlich Veränderungen der Stimme und des Bartwuchses befragt. Die Mädchen beantworten Fragen zur Brustentwicklung, zur Menstruation und zum Alter der Menarche.

Bei allen Items der Jungenversion und bei den ersten vier Items der Mädchenversion sind Antwortmöglichkeiten auf einer 4-Punkte-Skala angegeben, die von 1 (hat noch nicht begonnen) bis 4 (scheint abgeschlossen) reicht. Die Frage nach der Menstruation kann mit ja (4 Punkte) oder nein (1 Punkt) von den Mädchen beantwortet werden. Um die *pubertal development scale* (PDS) zu erhalten, werden die Punkte der fünf Items addiert und anschließend durch die Anzahl der Items dividiert. Je höher der Wert, desto weiter ist die sexuelle Reifung (Vgl. Tabelle 3-11).

Tabelle 3-11: Berechnung der pubertal development scale (PDS)

Items	Antwortmöglichkeiten	Wert
1) Größe 2) Körperbehaarung unter den Achseln 3) Hautveränderungen 4) Stimmveränderungen bzw. Brustentwicklung 5) Bartwuchs/Menstruation 5b) Alter der 1. Regelblutung	Hat noch nicht begonnen	1
	Hat kaum begonnen	2
	Hat auf jeden Fall schon angefangen	3
	Scheint abgeschlossen	4
PDS (pubertal development scale)	$(\text{Item 1} + \text{Item 2} + \text{Item 3} + \text{Item 4} + \text{Item 5}) / 5$	

(eigene Darstellung)

Im nächsten Schritt erfolgt eine Kategorisierung der PDS in fünf Kategorien: präpuberale, frühpuberale, midpuberale, spätpuberale und postpuberale Phase, um Aussagen über den Pubertätsstatus treffen zu können. Für Jungen werden die Items Körperbehaarung, Stimmveränderung und Bartwachstum herangezogen. Bei den Mädchen werden die Items Körperbehaarung, Brustentwicklung und Menarche herangezogen. Die Einteilung in die verschiedenen Stadien ist in Tabelle 3-12 dargestellt:

Tabelle 3-12: Pubertal status categories

PCS (pubertal category score)	Score	Phase
Jungen		
1) Körperbehaarung 2) Stimmveränderung 3) Bartwuchs	3	Präpuberal
	4 oder 5 (keine 3-Punkte Antwort)	Frühpuberal
	6, 7 oder 8 (keine 4-Punkte Antwort)	Midpuberal
	9-11	Spätpuberal
	12	Postpuberal
Mädchen		
1) Körperbehaarung 2) Brustentwicklung 3) Menarche (ja/nein)	3	Präpuberal
	3 und keine Regelblutung (= 4)	Frühpuberal
	4 und keine Regelblutung (= 5)	Midpuberal
	≤ 7 und Regelblutung (= 6-11)	Spätpuberal
	8 und Regelblutung (= 12)	Postpuberal

(Quelle: eigene Darstellung)

3.2.7 Soziodemographie

Die Schüler und Schülerinnen werden gebeten, Geschlecht, Geburtsmonat und -jahr, Schulart, Klassenstufe, Geburtsland und bei wem sie wohnen anzugeben.

Die Eltern des befragten Kindes werden ebenso zu ihrer Herkunft, ihrem Bildungsniveau und ihrer Art der Berufstätigkeit mittels eines Elternfragebogens befragt.

3.2.7.1 Bildungsniveau

Das Bildungsniveau der Eltern wird anhand der ISCED-Bildungsklassifikation 1997 (*international standard classification of education*, Internationale Standardklassifizierung des Bildungswesens) der UNESCO bewertet (UNESCO 2006). Dafür werden die Daten des höchsten Schulabschlusses sowohl der Mütter als auch der Väter berücksichtigt. Bei der ISCED-Klassifikation werden sechs Stufen, die zum Teil noch untergliedert sind, unterschieden. Die Klassifikation ist entwickelt worden, um internationale Bildungssysteme miteinander vergleichen zu können. Somit sind zum Teil die vorgegebenen Definitionen der UNESCO nicht direkt auf das deutsche Bildungssystem übertragbar. Aufgrund dessen ist die Klassifikation des ISCED modifiziert worden (Schroedter et al. 2006, UNESCO 2006).

Im Folgenden wird kurz erläutert, wie die ISCED-Klassifikation in der vorliegenden Arbeit angewendet wurde.

Die Zuordnung zu einem niedrigen, mittleren oder hohen Bildungsniveau beider Elternteile erfolgt unter der Berücksichtigung der Abschlussart. Demnach wird ein Elternteil einem niedrigen Bildungsniveau zugeordnet, wenn kein Schulabschluss vorliegt oder wenn ein Abschluss an der Grundschule, der Hauptschule, der Realschule oder der Polytechnischen Oberschule (ehemalige DDR) erworben wurde. Unter einem mittleren Bildungsniveau wird das Abitur oder der Abschluss an einer Berufsfachschule bzw. Kollegschule verstanden. Ein hohes Bildungsniveau wird einem Elternteil zugeordnet, wenn eine tertiäre Ausbildung wie ein Abschluss an einer Hoch- oder Fachhochschule, einer Meister- bzw. Technikerausbildung, einer Fach- bzw. Berufsakademie, einer Fachschule (ehemalige DDR) oder die Promotion erworben wurde (Vgl. Tabelle 3-13).

Tabelle 3-13: ISCED-Klassifikation

Bildungsniveau		Abschlussart
Niedrig		kein Schulabschluss
	Primärbereich	Schulbesuch der Klassen 1-4 an einer allgemein bildenden Schule (Grundschule)
	Sekundarstufe I	Hauptschulabschluss
		Realschulabschluss
		Abschluss an einer allgemeinen polytechnischen Oberschule (POS) der ehemaligen DDR
Mittel	Sekundarstufe II	Abschluss an einer Berufsfachschule/Kollegschule
		Fach-/Hochschulreife

Bildungsniveau		Abschlussart
Hoch	1. Stufe der tertiären Bildung	Meister-/Techniker- oder gleichwertiger Fachschulabschluss
		Abschluss der Fachschule der ehemaligen DDR
		Abschluss einer Fach- oder einer Berufsakademie
		Fachhochschulabschluss (auch Ingenieurabschluss)
		Abschluss einer Universität
	2. Stufe der tertiären Bildung	Promotion

(Quelle: Schroedter et al. 2006)

Da in der vorliegenden Untersuchung von beiden Elternteilen soziodemographische Merkmale erhoben wurden, ist das Bildungsniveau für Mutter und Vater separat berechnet worden und der höhere Wert dem untersuchten Kind zugewiesen, wenn das Kind im gemeinsamen Haushalt der Eltern lebt. Leben die Eltern getrennt, wurde nur das Bildungsniveau des Elternteils berücksichtigt, bei wem das Kind hauptsächlich lebt. Somit können die Schülerinnen und Schüler einem niedrigen, mittleren oder hohen Bildungsniveau zugeordnet werden, der wiederum ihrem Bildungshintergrund entspricht (Lange et al. 2007).

3.2.7.2 Migrationshintergrund

Um einen Migrationshintergrund definieren zu können, werden sowohl das Geburtsland des Schülers bzw. der Schülerin als auch das Geburtsland von Mutter und Vater berücksichtigt. Ein Migrationshintergrund besteht dann, wenn ein Schüler bzw. eine Schülerin entweder selber aus einem anderen Land zugewandert ist und mindestens ein Elternteil nicht in Deutschland geboren ist oder wenn beide Elternteile aus einem anderen Land zugewandert sind. Sie verfügen somit über einen zweiseitigen Migrationshintergrund. Schüler und Schülerinnen, die in Deutschland geboren sind, von denen aber ein Elternteil aus einem anderen Land zugewandert ist, werden als Nicht-Migrant bezeichnet. Allerdings besteht ein einseitiger Migrationshintergrund (Lange et al. 2007, Schenk et al. 2007).

3.2.8 Weitere Faktoren

1) Aufenthalt im Freien

Die Kinder und Jugendlichen wurden gebeten, im Fragebogen anzugeben, wie lange sie sich normalerweise täglich im Freien aufhalten. Es wurde nach Sommer und Winter und nach „in der Woche“ und „am Wochenende“ unterschieden.

Um die Angaben „in der Woche“ und „am Wochenende“ zu gewichten, wurden zunächst die Stunden pro Tag in der Woche auf fünf Tage und die Stunden pro Tag am Wochenende auf zwei Tage für die jeweilige Jahreszeit (Sommer und Winter) hochgerechnet und gemittelt.

Als Cut-off werden Werte über 9,8833 Stunden pro Tag definiert. Er ergibt sich als Mittelwert aus der Subtraktion der täglichen Schlafdauer, der Schulzeit und 1 Stunde für gesellschaftliche Aktivitäten von 24 Stunden.

2) Rauchstatus

Die Kinder und Jugendlichen wurden gebeten, auf einer 4-stufigen Skala anzugeben, ob sie rauchen, nur bei besonderen Gelegenheiten rauchen, aufgehört haben mit dem Rauchen oder noch nie geraucht haben.

3) Gesundheitsstatus

Mittels des Elternfragebogens werden Daten zu Erkrankungen, zur Medikamenteneinnahme und zu Frakturen des Kindes erfasst. Die Eltern wurden gebeten, alle chronischen Krankheiten des Kindes und alle Medikamente, welche das Kind zurzeit einnimmt, aufzuführen. Weiterhin wurden sie gebeten, alle Frakturen, die ihr Kind im Laufe des Lebens erwarb, anzugeben.

Die Mädchen wurden zusätzlich gebeten, Angaben zur Einnahme eines hormonellen Verhütungsmittels zu machen. Zudem wurden sie befragt, ob sie schon einmal schwanger waren und gestillt haben.

4) Vitamin D-Einnahme im ersten Lebensjahr

Mittels des Elternfragebogens wurde erhoben, ob das Kind im ersten Lebensjahr ein Vitamin D-Supplement regelmäßig, oft, manchmal oder nie eingenommen hat.

3.3 Reproduzierbarkeit des Fragebogens für Schüler und Schülerinnen

Um die Reproduzierbarkeit des Fragebogens zu untersuchen, wurden drei Schulen aus Baden-Württemberg zufällig ausgewählt. Die Befragung der Schüler und Schülerinnen erfolgte durch drei Bachelor-Studierende des Studiengangs Gesundheitsförderung. Im Vorfeld der Untersuchung wurde das Einverständnis von dem jeweiligen Schulleiter und dem Klassenlehrer bzw. der Klassenlehrerin eingeholt. Zudem wurden vor der Untersuchung die Einverständniserklärungen für die Eltern ausgeteilt. Nur die Schüler und Schülerinnen konnten an der Studie zur Reproduzierbarkeit teilnehmen, die zum Zeitpunkt der Befragung die unterschriebene Einverständniserklärung der Eltern vorliegen hatten. Insgesamt konnten 199 Schüler und Schülerinnen der Klassen fünf bis neun von drei verschiedenen Schulen gewonnen werden (Tabelle 3-14).

Tabelle 3-14: Teilnehmende Schulen an der Reproduzierbarkeitsstudie des Fragebogens

Schule, Ort	Klassen	Erhebungszeitraum
Hofherrnschule Aalen-Unterrimbach (Werkrealschule)	Jeweils eine 5., 8. und 9. Klasse	Februar-März 2011
Schubart-Realschule Geislingen	Jeweils eine 6., 8. und 9. Klasse	Januar-Februar 2011
Lessing-Gymnasium Winnenden	Drei 7. Klassen	Februar 2011

(Quelle: eigene Darstellung)

Die Schüler und Schülerinnen wurden gebeten, an zwei nicht aufeinander folgenden Tagen den Fragebogen in der Klasse auszufüllen. Der zeitliche Mindestabstand sollte 14 Tage nicht unterschreiten. Die Befragungen fanden im Januar bis April 2011 statt.

Die mittleren täglichen Verzehrsmengen der ersten und zweiten Erhebung sowie der Index für eine knochengesunde Ernährung werden analog zu der Vorgehensweise in Kapitel 3.2.4 (S. 76) und die mittleren täglichen körperlichen (In-)Aktivitäten berechnet, wie in Kapitel 3.2.5 (S. 83) beschrieben. Zudem soll untersucht werden, ob sich die Reproduzierbarkeit zwischen den Geschlechtern oder zwischen den drei Altersgruppen (10 bis 12 Jahre, 13 bis 14 Jahre, 15 bis 17 Jahre) unterscheidet. Die mittleren Werte für den Pubertätsstatus werden analog zur Vorgehensweise in Kapitel 3.2.6 (S. 85) berechnet und dahingehend untersucht, ob zwischen den Geschlechtern und den oben genannten Altersgruppen Unterschiede in der Reproduzierbarkeit vorhanden sind.

3.4 Statistische Kennzahlen und Testverfahren

Die Auswertung des Datenmaterials erfolgt mit dem Statistikprogramm SPSS 21 (IBM).

Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten statistischen Maßzahlen und Testverfahren sind ausführlich in der Literatur beschrieben (Backhaus 2011, Hartung et al. 2005, Sachs 2003). Sie sollen im Folgenden nur kurz dargestellt werden.

Anhand des Kolmogorov-Smirnow-Tests wird getrennt nach Jungen und Mädchen untersucht, ob die erhobenen Daten als normalverteilt angesehen werden können. Mit dem Levene-Test erfolgt die Überprüfung auf Varianzhomogenität zwischen Jungen und Mädchen (Vgl. Anhang A 3-3 S. 252).

Als statistische Kennzahlen zur Charakterisierung der Verteilung werden der Mittelwert (MW), die Standardabweichung (SD), und, wenn erforderlich, das Minimum und das Maximum, der Median und die 5-er und 95-er Perzentile sowie das 95 % - Konfidenzintervall angegeben.

Der Chi-Quadrat-Test wird für nominalskalierte Variablen verwendet. Dieser überprüft, ob die beobachteten Häufigkeiten sich signifikant von den erwarteten Häufigkeiten unterscheiden.

Bei normalverteilten Variablen wird der t-Test für unabhängige Stichproben angewendet, um zu überprüfen, ob signifikante Mittelwertunterschiede bestehen.

Bei nicht-normalverteilten Größen wird der U-Test nach Mann und Whitney herangezogen, um zu überprüfen, ob sich die mittleren Ränge von zwei unabhängigen Stichproben signifikant unterscheiden. Liegen mehr als zwei unabhängige Stichproben vor, wird der H-Test nach Kruskal-Wallis durchgeführt.

Mit der Rangvarianzanalyse nach Friedman wird überprüft, ob die mittleren Ränge von mehreren verbundenen Stichproben systematische Unterschiede aufweisen.

Die Stärke des Zusammenhangs zwischen zwei Variablen wird mit dem Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman (r) untersucht.

Lineare Regressionsanalyse

Der Zusammenhang zwischen einer abhängigen und mehreren unabhängigen Variablen (Prädiktoren) wird anhand der schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse genauer betrachtet.

Zur Beurteilung der Regressionsanalysen wird in den entsprechenden Tabellen der vorliegenden Arbeit der Pearsonsche Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient (r), das Signifikanzniveau (p) sowie das Bestimmtheitsmaß (r^2) und die Standardabweichung der Residuen (SE) aufgeführt.

Der Korrelationskoeffizient gibt den Grad der Übereinstimmung zwischen den beobachteten und den aus dem Modell ermittelten Werten an. Das Bestimmtheitsmaß erklärt den Anteil der Varianz der abhängigen Variable, der auf die unabhängigen Variablen zurückgeführt werden kann. Mit Hilfe der F-Statistik wird ermittelt, ob das geschätzte Modell auch für die Grundgesamtheit Gültigkeit besitzt. Die Standardabweichung der Residuen (SE) dient als Maß dafür, wie nahe die durch die Regressionsgleichung prognostizierten Werte an den wahren Werten liegen (Backhaus 2011 S. 72-80).

Für alle verwendeten statistischen Testverfahren wird die Nullhypothese nur dann verworfen, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$ ist.

Reproduzierbarkeit

Um Unterschiede zwischen der ersten und zweiten Befragung aufzudecken, wird der Wilcoxon-Test für zwei verbundene Stichproben durchgeführt.

Für die Analyse der Reproduzierbarkeit wird der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman berechnet, um den Grad des Zusammenhangs zwischen der ersten und zweiten Befragung zu bestimmen (Cade et al. 2002). Um Unterschiede der Spearman's Koeffizienten hinsichtlich Geschlecht und Altersgruppe zu untersuchen, wird die Fisher's Z Transformation angewandt.

4 Ergebnisse

4.1 Beschreibung der Schülerinnen und Schüler

4.1.1 Auswahl der Schülerinnen und Schüler

Insgesamt wurden 954 Schülerinnen und Schüler angesprochen. Von diesen nahmen 486 Kinder und Jugendliche an der Studie „Knochengesundheit von Schwäbisch Gmünder SchülerInnen“ teil. Die Responserate lag insgesamt bei 50,9 % (Vgl. Tabelle 4-1). Die höchste Responserate wurde bei der Realschule, gefolgt vom Gymnasium, erreicht. Die Responserate bei den Haupt- bzw. Werkrealschulen⁴ war am niedrigsten.

Tabelle 4-1: Responserate der Schülerinnen und Schüler

Schulart	Angesprochene Schülerinnen und Schüler	Teilgenommene Schülerinnen und Schüler	Responserate [%]
Hauptschule	332	140	42,2
Realschule	268	163	60,8
Gymnasium	354	183	51,7
Insgesamt	954	486	50,9

In Tabelle 4-2 (S. 94) sind die Charakteristika der Schulen, die teilgenommen haben, dargestellt. An der Studie nahmen insgesamt drei Hauptschulen, eine Realschule und zwei Gymnasien in Schwäbisch Gmünd und Umgebung teil. Der Erhebungszeitraum der Studie reichte von Juni 2010 bis Juli 2011.

⁴ Der in der vorliegenden Arbeit verwendete Begriff Hauptschule bezieht sich auch auf die Werkrealschule. Dieser Begriff wurde im Hinblick auf eine vereinfachte Lesbarkeit gewählt.

Tabelle 4-2: Charakteristika der teilnehmenden Schulen

Schule	Alter [J] der Schüler und Schülerinnen	Klasse	Erhebungszeitraum
Stauferschule Schwäbisch Gmünd	11-17	6., 7., 8., 9.	Juni-Oktober 2010
Hans-Baldung- Gymnasium	10-17	5., 7., 8., 9., 10.	Juli 2010
Realschule Mutlangen	10-16	5., 6., 7., 8., 10.	Dezember 2010-März 2011
Werkrealschule Schwäbischer Wald	10-16	5., 6., 7., 8., 9.	Februar-März 2011
Parler-Gymnasium	10-17	5., 6., 8., 10.	Juli 2011
Friedensschule Schwäbisch Gmünd	10-16	5., 7.	Juli 2011

Die meisten Schülerinnen gehen aufs Gymnasium, die wenigsten auf die Hauptschule. Bei den Schülern ist es fast gleich verteilt (Abbildung 4-1). Die Verteilung der Schüler und Schülerinnen nach den verschiedenen Klassenstufen ist tabellarisch unter Anhang A 4-1 (S. 253) zu finden.

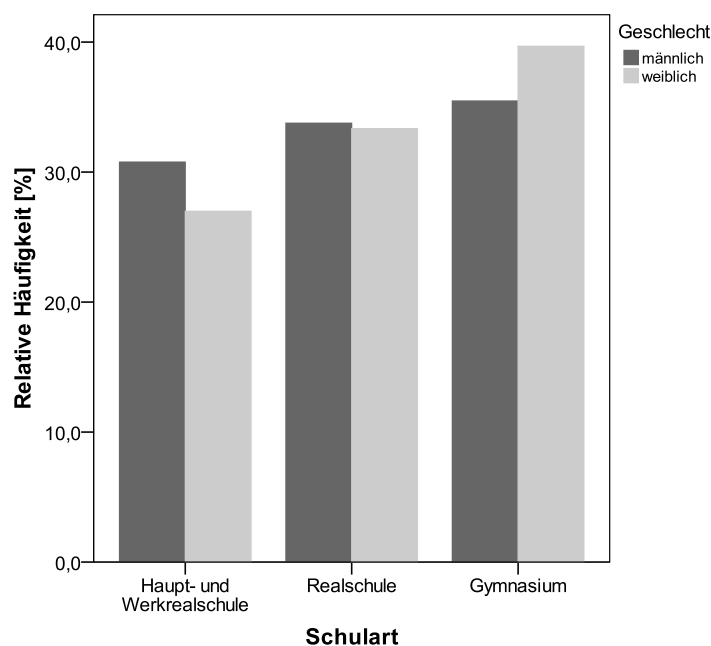


Abbildung 4-1: Schulart nach Geschlecht

Insgesamt wurden zwei Schüler und eine Schülerin von den Analysen ausgeschlossen, da bei den beiden Schülern kein Schülerfragebogen vorlag bzw. bei der Schülerin die Eltern angaben, dass sie kleinwüchsig sei. Dies kann die Messungen der Knochenmasse beeinflussen und zu niedrigeren Werten führen. Schüler und Schülerinnen, die angaben, chronisch krank zu sein oder Kontrazeptiva einzunehmen, wurden in die Analyse eingeschlossen, da dies keinen Einfluss auf den Steifigkeitsindex hatte.

Somit umfasst das Untersuchungskollektiv 232 Schüler und 251 Schülerinnen, wobei das Geschlechterverhältnis in etwa ausgeglichen ist (48 % Jungen und 52 % Mädchen).

4.1.2 Soziodemographische Merkmale der Schülerinnen und Schüler

1) Alter

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen waren die Schüler und Schülerinnen zwischen 10 und 17 Jahre alt. Im Mittel waren die Schüler und Schülerinnen $13,3 \pm 1,7$ Jahre bzw. $13,1 \pm 1,9$ Jahre alt.

Anhand des Alters werden die Schüler und Schülerinnen in acht Altersgruppen eingeteilt. Am seltensten sind die 10-Jährigen sowie die 16- und 17-Jährigen vertreten. Die restlichen fünf Altersgruppen sind relativ gleichmäßig verteilt (Vgl. Abbildung 4-2 und Anhang A 4-2 S. 253).

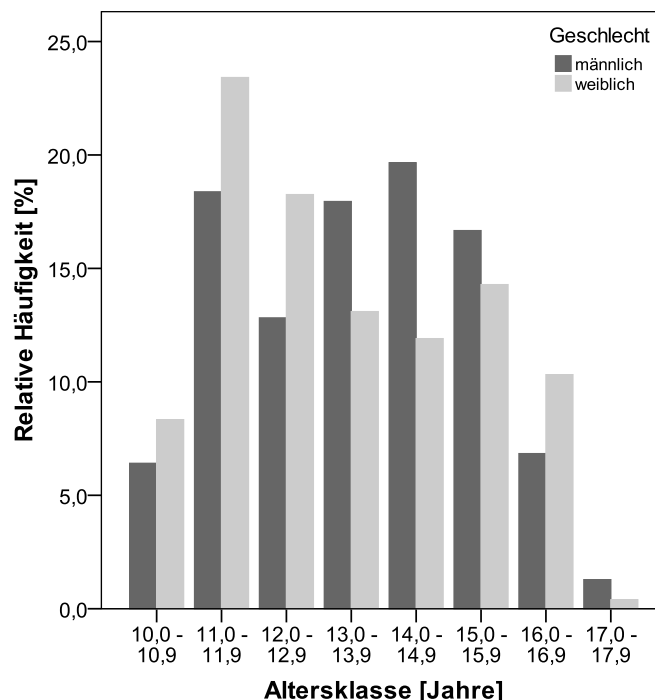


Abbildung 4-2: Altersklassen der Schülerinnen und Schüler nach Geschlecht

2) Höchster Schulabschluss der Eltern sowie Bildungshintergrund der Schülerinnen und Schüler

Der jeweilige Bildungsstand der Väter, deren Kinder an der vorliegenden Studie teilgenommen haben, ist relativ gleichmäßig über alle drei Schulabschlüsse verteilt, während die Verteilung bei den Müttern demgegenüber leicht ungleich ist. Die meisten Mütter verfügen über einen Realschul- oder gleichwertigen Schulabschluss, die zweitgrößte Gruppe der Mütter hat die Fachhoch- oder Hochschulreife und 24,1 % verfügen über einen Volksschul- oder Hauptschulabschluss (Vgl. Tabelle 4-3).

Tabelle 4-3: Höchster Schulabschluss der Väter und Mütter

Höchster Schulabschluss	Väter (n = 464) ¹		Mütter (n = 475) ¹	
	Anzahl	Anteil [%]	Anzahl	Anteil [%]
Kein Schulabschluss	10	2,2	9	1,9
Volksschul- oder Hauptschulabschluss	150	32,3	115	24,2
Realschul- oder gleichwertiger Schulabschluss	153	33,0	198	41,7
Fachhoch- oder Hochschulreife	145	31,2	146	30,7
Sonstiges	6	1,3	7	1,5

¹ Bei 19 Vätern und 8 Müttern (insgesamt 2,9 %) fehlen Angaben zum eigenen höchsten Schulabschluss.

Demnach weisen der größte Teil der Schülerinnen und Schüler einen niedrigen, der kleinste Teil der Schülerinnen und Schüler einen mittleren und knapp ein Viertel der Schülerinnen und Schüler einen hohen Bildungshintergrund auf (Vgl. Tabelle 4-4 S. 97) ⁵.

⁵ Wie in Kapitel 3.2.7.1 (S. 87) beschrieben fallen kein Schulabschluss, Abschluss der Grund-, Haupt- und Realschule sowie der POS unter einen niedrigen; Abitur und Abschluss einer Berufsfachschule unter einen mittleren sowie ein Abschluss eines Meisters, einer Fachhoche in der DDR, einer Fach- bzw. Berufsakademie, einer Fachhoche, einer Universität oder einer Promotion unter einen hohen Bildungshintergrund.

Tabelle 4-4: Bildungshintergrund der Schüler und Schülerinnen

Bildungshintergrund *	Schüler (n = 227) ¹		Schülerinnen (n = 249) ¹	
	Anzahl	Anteil [%]	Anzahl	Anteil [%]
Niedrig	134	59,0	143	57,4
Mittel	44	19,4	39	15,7
Hoch	49	21,6	67	26,9

¹ Bei 7 Schülern sowie bei 2 Schülerinnen (insgesamt 1,9 %) fehlen Angaben zum höchsten Schulabschluss der Eltern.

* Zur Beschreibung des Bildungshintergrundes werden die Schüler und Schülerinnen hinsichtlich des höchsten Schulabschlusses ihrer Eltern eingeteilt. Bei getrennt lebenden Eltern wird nur der höchste Schulabschluss des Elternteils berücksichtigt, bei dem das Kind überwiegend lebt.

3) Migrationshintergrund

16,5 % der Schülerinnen und Schüler verfügen über einen Migrationshintergrund (Vgl. Tabelle 4-5).

Die meisten Schülerinnen und Schüler mit Migrationshintergrund mit einem Anteil von 21,4 % kommen aus Russland, danach folgen die Länder Italien, Rumänien sowie die Türkei mit einem Anteil von jeweils 14,3 %. 14 dieser Schüler und Schülerinnen (2,9 %) wurden nicht in Deutschland geboren.

24,2 % der Mütter und 21,1 % der Väter wurden ebenfalls nicht in Deutschland geboren. Der größte Anteil der Mütter (33,6 %) stammt ursprünglich aus der Türkei, danach folgen Länder wie Russland (9,7 %) und Kasachstan (7,1 %) sowie Polen (7,1 %). Bei den Vätern kommen die meisten ursprünglich ebenfalls aus der Türkei (39,4 %). Russland macht einen Anteil von 10,1 % aus gefolgt von Italien sowie Kasachstan mit jeweils 6,1 %.

Tabelle 4-5: Migrationshintergrund der Schüler und Schülerinnen

Migrationshintergrund	Schüler (n = 226) ¹		Schülerinnen (n = 246) ¹		Gesamt (n = 472) ¹	
	Anzahl	Anteil [%]	Anzahl	Anteil [%]	Anzahl	Anteil [%]
Nicht vorhanden	188	83,2	206	83,7	394	83,5
vorhanden	38	16,8	40	16,3	78	16,5

¹ Sowohl bei 6 Jungen als auch bei 5 Mädchen (insgesamt 2,3 %) fehlen Angaben zur Herkunft.

Schülerinnen und Schüler mit Migrationshintergrund weisen seltener einen hohen Bildungshintergrund auf. Der größte Anteil von Schülern und Schülerinnen mit einem Migrationshintergrund weist einen niedrigen bzw. einen mittleren Bildungshintergrund auf (Vgl. Anhang A 4-3 S. 253).

4.1.3 Anthropometrische Daten und Körperzusammensetzung der Schüler und Schülerinnen

In Tabelle 4-6 sind die Daten der Anthropometrie sowie der Körperzusammensetzung der Schüler und Schülerinnen dargestellt. Hinsichtlich des Körpergewichts und des BMIs können zwischen den Geschlechtern keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die Schüler sind im Vergleich zu den Schülerinnen signifikant größer.

Die Schüler weisen eine signifikant höhere fettfreie Masse auf, wohingegen bei den Schülerinnen eine signifikant höhere Fettmasse ermittelt wird. Im Vergleich zu den Schülern weisen die Schülerinnen eine signifikant höhere prozentuale Fettmasse auf, während bei den Schülern der prozentuale Anteil der fettfreien Masse signifikant größer ist.

Das Körpergewicht (Anhang A 4-4 S. 254), die Körpergröße (Anhang A 4-5 S. 254) und Daten zur Körperzusammensetzung (Anhang A 4-6 S. 254, Anhang A 4-7 S. 255, Anhang A 4-8 S. 255) nach Altersgruppen und Geschlecht sind im Anhang dargestellt.

Tabelle 4-6: Anthropometrische Daten und Körperzusammensetzung der Schüler und Schülerinnen

	Schüler	Schülerinnen
Anthropometrische Daten (232/251)		
Körpergewicht [kg]	51,1 ± 13,7	51,2 ± 14,8
Körpergröße [cm]	161 ± 13	158 ± 10 *
Body Mass Index [kg/m ²]	19,3 ± 3,3	20,2 ± 4,7
Körperzusammensetzung (226/249)¹		
Fettfreie Masse [kg]	41,7 ± 10,4	37,5 ± 7,2 ***
Fettmasse [kg]	9,8 ± 5,5	13,8 ± 8,7 ***
Anteil der fettfreien Masse am Körpergewicht [%]	81,5 ± 6,9	74,9 ± 7,9 ***
Anteil der Fettmasse am Körpergewicht [%]	18,5 ± 6,9	25,1 ± 7,9 ***

Angegebene Werte: MW ± SD; angegebene Werte in Klammern: Anzahl Schüler/Schülerinnen

¹ 6 Schüler und 2 Schülerinnen (insgesamt 1,6 %) wurden von der Analyse ausgeschlossen, da entweder keine Messwerte vorhanden waren oder die prozentuale Fettmasse ≤ 5 % war.

* = p < 0,05, *** = p < 0,001 (U-Test nach Mann-Whitney)

Insgesamt sind 75 % der Schüler und Schülerinnen normalgewichtig. Etwa 10 % sind von Untergewicht und 15 % von Übergewicht betroffen. Im Vergleich zu den Schülerinnen sind die Schüler häufiger von Untergewicht und seltener von Übergewicht betroffen (Vgl. Tabelle 4-7).

Tabelle 4-7: Einteilung des BMI in Unter-, Normal- und Übergewicht der Schüler und Schülerinnen

Einteilung BMI	Schüler (n = 232)		Schülerinnen (n = 251)		Gesamt (n = 483)	
	Anzahl	Anteil [%]	Anzahl	Anteil [%]	Anzahl	Anteil [%]
Untergewicht	25	10,8	21	8,4	46	9,5
Normalgewicht	180	77,6	184	73,3	364	75,4
Übergewicht	27	11,6	46	18,4	73	15,1

Werden die Schüler und Schülerinnen hinsichtlich der Daten der Anthropometrie und der Körperzusammensetzung nach ihrem Bildungshintergrund aufgeteilt, weisen die Schülerinnen signifikant unterschiedliche BMI-Werte auf. Für die Schülerinnen mit einem hohen Bildungshintergrund kann im Vergleich zu den Schülerinnen eines anderen Bildungshintergrundes ein signifikant niedrigerer BMI ermittelt werden. Bei den Schülern hingegen können keine Unterschiede hinsichtlich des BMIs nach dem Bildungsstand gefunden werden. Schüler mit einem mittleren Bildungsniveau sind am häufigsten von Untergewicht betroffen, wohingegen Schülerinnen mit einem niedrigen und mittleren Bildungsstand am häufigsten von Übergewicht betroffen sind. Dies spiegelt sich ebenfalls in den Daten der Körperzusammensetzung wider (Vgl. Tabelle 4-8 S. 100).

Tabelle 4-8: Anthropometrische Daten und Körperzusammensetzung der Schüler und Schülerinnen nach Bildungshintergrund

	Bildungshintergrund					
	Schüler			Schülerinnen		
	Niedrig (n = 134)	Mittel (n = 44)	Hoch (n = 49)	Niedrig (n = 143)	Mittel (n = 39)	Hoch (n = 67)
Anthropometrische Daten						
Körpergewicht [kg]	52,1 ± 13,9	48,5 ± 14,0	51,6 ± 12,9	52,5 ± 15,6	55,7 ± 17,8	46,5 ± 8,9 **
Body-Mass-Index [kg/m ²]	19,7 ± 3,4	18,8 ± 3,2	18,9 ± 2,8	20,8 ± 5,1	21,3 ± 5,6	18,4 ± 2,4 **
Einteilung BMI [%]						
Untergewicht	9,0	20,5	6,1	7,7	10,3	7,5
Normalgewicht	77,6	72,7	83,7	67,8	66,7	89,6
Übergewicht	13,4	6,8	10,2	24,5	23,1	3,0
Chi-Quadrat-Test	p < 0,05			n. s.		
Körperzusammensetzung						
Fettfreie Masse [kg]	42,0 ± 10,3	39,6 ± 11,1	43,1 ± 10,0	37,8 ± 7,4	40,1 ± 7,4	35,7 ± 5,9 *
Fettmasse [kg]	10,6 ± 5,5	9,0 ± 5,0	8,5 ± 5,3 **	14,9 ± 9,3	15,6 ± 11,3	10,8 ± 4,0 **
Fettfreie Masse [%]	80,5 ± 7,0	82,0 ± 6,4	83,9 ± 6,5 **	73,9 ± 8,7	74,0 ± 8,3	77,3 ± 5,0 *

Angegebene Werte: MW ± SD oder relative Häufigkeiten

* = p < 0,05, ** = p < 0,01 (H-Test nach Kruskal Wallis)

Schülerinnen mit Migrationshintergrund weisen einen höheren BMI, eine höhere fettfreie Masse und Fettmasse auf als Schülerinnen ohne Migrationshintergrund. Fast jede zweite Schülerin mit Migrationshintergrund ist von Übergewicht betroffen. Zudem ist der Anteil der fettfreien Masse am Körpergewicht signifikant niedriger bei den Schülern und Schülerinnen mit Migrationshintergrund im Vergleich zu denjenigen ohne Migrationshintergrund (Vgl. Tabelle 4-9).

Tabelle 4-9: Anthropometrische Daten und Körperzusammensetzung der Schüler und Schülerinnen nach Migrationshintergrund

	Migrationshintergrund			
	Schüler		Schülerinnen	
	Nicht vorhanden (n = 188)	Vorhanden (n = 38)	Nicht vorhanden (n = 206)	Vorhanden (n = 40)
Anthropometrische Daten				
Körpergewicht	51,2 ± 13,8	49,7 ± 13,2	49,4 ± 12,8	60,6 ± 21,0 ***
Body Mass Index	19,2 ± 3,2	19,6 ± 3,4	19,5 ± 3,9	23,7 ± 6,8 ***
Einteilung BMI [%]				
Untergewicht	10,6	10,5	8,7	7,5
Normalgewicht	79,3	73,7	78,6	45,0
Übergewicht	10,1	15,8	12,7	47,5
Chi-Quadrat-Test	n. s.		p < 0,001	
Körperzusammensetzung				
Fettfreie Masse	42,0 ± 10,4	40,0 ± 10,4	37,0 ± 6,8	40,3 ± 8,8 *
Fettmasse	9,6 ± 5,3	10,6 ± 5,4	12,5 ± 7,1	20,3 ± 12,9 ***
Fettfreie Masse [%]	82,0 ± 6,6	79,4 ± 7,2 *	76,1 ± 7,1	69,2 ± 9,7 ***

Angegebene Werte: MW ± SD oder relative Häufigkeiten

* = p < 0,05, *** p < 0,001 (U-Test nach Mann-Whitney)

4.1.4 Ernährung der Schüler und Schülerinnen

1) Lebensmittelverzehr

In Tabelle 4-10 (S. 102) ist der tägliche mittlere Lebensmittelverzehr der Schüler und Schülerinnen dargestellt. Es liegen von 231 Schülern und 250 Schülerinnen plausible Lebensmittelverzehrmengen vor.

Schüler verzehren signifikant mehr Brot, Fleisch und Wurst, Fisch sowie Knabberartikel. Bei den Getränken verzehren die Schüler deutlich mehr Limonaden als die Schülerinnen. Die Schülerinnen weisen einen signifikant höheren Verzehr von pflanzlichen Lebensmitteln wie Obst und Gemüse auf. Hinsichtlich des Verzehrs von Milch und Milchprodukten, Süßigkeiten sowie Kaffee und schwarzem bzw. grünem Tee unterscheiden sich die Schüler und Schülerinnen nicht voneinander.

Die Schülerinnen weisen einen signifikant größeren Index für eine knochengesunde Ernährung auf als die Schüler.

Im Vergleich zu den Empfehlungen des Forschungsinstituts für Kinderernährung (Alexy et al. 2008, FKE 2008) verzehren die Schüler und Schülerinnen deutlich zu wenig Gemüse. Der Konsum von Obst, Brot, Milch und Milchprodukten ist sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen verglichen mit den Empfehlungen zu niedrig. Bei den Schülerinnen ist der Verzehr von Fisch ebenfalls unterhalb der Empfehlung. Der Verzehr von Fleisch und Wurstwaren liegt bei den Schülern deutlich über den Empfehlungen. Die mediane Zufuhr sowie die Verzehrshäufigkeiten dieser Lebensmittel ist im Anhang unter A 4-9 (S. 256) bzw. A 4-10 (S. 257) dargestellt.

Tabelle 4-10: Lebensmittelverzehr und Index für eine knochengesunde Ernährung (BHEI) der Schüler und Schülerinnen

Lebensmittelverzehr [g/d bzw. mL/d] und BHEI	Schüler (n = 231) ¹	Schülerinnen (n = 249) ¹	Empfehlung FKE [g/d bzw. mL/d]
Milch und Milchprodukte	381 ± 418	336 ± 377	420-500
Brot	170 ± 188	115 ± 135 ***	250-300
Fleisch und Wurstwaren	166 ± 198	75 ± 103 ***	60-85
Fisch	17 ± 40	7 ± 14 ***	90-100
Obst	248 ± 426	292 ± 430 **	250-350
Gemüse	147 ± 268	176 ± 299 **	250-350
Süßigkeiten	66 ± 151	53 ± 112	220-310 kcal/d
Knabberartikel	51 ± 143	26 ± 80 **	
Limonaden	563 ± 858	347 ± 692 ***	
Kaffee, schwarzer und grüner Tee	103 ± 333	106 ± 322	-
BHEI	56 ± 16	60 ± 13 *	

Angegebene Werte: MW ± SD

FKE = Forschungsinstitut für Kinderernährung

¹ Von der Analyse wurden ein Schüler und 2 Schülerinnen (insgesamt 0,6 %) ausgeschlossen, da entweder mehr als die Hälfte der Antworten zum Lebensmittelverzehr fehlten oder bei mehr als der Hälfte der Antwortmöglichkeiten jeweils die höchste Kategorie („öfter als 5 mal am Tag“ und „2 Portionen oder mehr“) angegeben wurde.

* = p < 0,05; ** = p < 0,01, *** = p < 0,001 (U-Test nach Mann-Whitney)

Bei der Einteilung der Schüler und Schülerinnen anhand ihres Bildungshintergrundes können Unterschiede im Lebensmittelverzehr ermittelt werden: Der Verzehr von Knabberartikeln sowie tendenziell von Limonaden unterscheidet sich bei den Schülern zwischen den verschiedenen Bildungsniveaus, wobei die Schüler mit einem höheren Bildungshintergrund einen niedrigeren Verzehr dieser Lebensmittel aufweisen. Bei den Schülerinnen ergeben sich signifikante Unterschiede für den Verzehr von Limonade und tendenziell für Gemüse. Schülerinnen, die einen niedrigen Bildungshintergrund aufweisen, verzehren mehr Limonade. Hinsichtlich des Gemüsekonsums verzehren diese allerdings tendenziell mehr als Schülerinnen mit einem höheren Bildungshintergrund.

Die Unterschiede im Lebensmittelverzehr zwischen den verschiedenen Bildungsgruppen spiegelt sich sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen im BHEI wider: Schülerinnen mit einem hohen sowie Schüler mit einem mittleren bzw. hohen Bildungshintergrund haben einen signifikant höheren BHEI als die Schülerinnen und Schüler mit niedrigem Bildungshintergrund (Vgl. Tabelle 4-11).

Tabelle 4-11: Lebensmittelverzehr und Index für eine knochengesunde Ernährung (BHEI) der Schüler und Schülerinnen nach Bildungshintergrund

Lebensmittel- verzehr [g/d bzw. mL/d] und BHEI	Bildungshintergrund					
	Schüler			Schülerinnen		
	Niedrig (n = 134)	Mittel (n = 44)	Hoch (n = 49)	Niedrig (n = 143)	Mittel (n = 39)	Hoch (n = 67)
Milch und Milchprodukte	366 ± 439	376 ± 375	446 ± 417	341 ± 373	273 ± 297	369 ± 401
Brot	188 ± 222	139 ± 117	150 ± 137	117 ± 141	88 ± 92	128 ± 145
Fleisch- und Wurstwaren	149 ± 162	148 ± 139	203 ± 265	81 ± 121	74 ± 82	65 ± 68
Fisch	15 ± 30	25 ± 72	14 ± 23	6 ± 12	7 ± 11	10 ± 18
Obst	259 ± 492	205 ± 266	254 ± 354	318 ± 481	243 ± 326	272 ± 369
Gemüse	128 ± 208	183 ± 393	138 ± 199	202 ± 371	122 ± 150	154 ± 148
Süßigkeiten	74 ± 164	49 ± 127	54 ± 120	55 ± 114	70 ± 120	39 ± 104
Knabberartikel	67 ± 179	14 ± 19	34 ± 75 *	30 ± 87	21 ± 45	20 ± 83
Limonade	677 ± 962	363 ± 661	380 ± 523	425 ± 773	309 ± 718	213 ± 444 *
Kaffee, schwarzer und grüner Tee	128 ± 357	34 ± 71	103 ± 413	138 ± 410	81 ± 159	56 ± 123
BHEI	54 ± 16	62 ± 17	57 ± 13 #	58 ± 13	58 ± 15	64 ± 13 *

Angegebene Werte: MW ± SD

* = p < 0,05 (H-Test nach Kruskal-Wallis)

Ein ähnliches Ergebnis wird ermittelt, wenn die Schüler und Schülerinnen anhand ihres Migrationshintergrundes eingeteilt werden. Schüler mit Migrationshintergrund verzehren signifikant weniger Fleisch- und Wurstwaren und mehr Kaffee und Tee sowie tendenziell mehr Limonade als Schüler ohne Migrationshintergrund. Die Schülerinnen mit Migrationshintergrund nehmen signifikant weniger Obst, aber tendenziell mehr Gemüse zu sich, trinken jedoch signifikant mehr Kaffee und Tee im Vergleich zu den Schülerinnen ohne Migrationshintergrund. Dies spiegelt sich bei den Schülerinnen in einem signifikanten Unterschied zwischen den Indizes für eine knochengesunde Ernährung wider: Schülerinnen mit einem Migrationshintergrund weisen einen niedrigeren BHEI auf als Schülerinnen ohne Migrationshintergrund (Vgl. Tabelle 4-12).

Tabelle 4-12: Lebensmittelverzehr und Index für eine knochengesunde Ernährung (BHEI) der Schüler und Schülerinnen nach Migrationshintergrund

Lebensmittelverzehr [g/d bzw. mL/d] und BHEI	Migrationshintergrund			
	Schüler		Schülerinnen	
	Nicht vorhanden (n = 190)	Vorhanden (n = 38)	Nicht vorhanden (n = 206)	Vorhanden (n = 40)
Milch und Milchprodukte	378 ± 423	423 ± 410	344 ± 378	305 ± 336
Brot	150 ± 157	269 ± 279	114 ± 136	106 ± 112
Fleisch- und Wurstwaren	167 ± 192	142 ± 199 *	78 ± 107	45 ± 77
Fisch	17 ± 43	13 ± 19	8 ± 15	5 ± 8
Obst	216 ± 343	380 ± 689	307 ± 419	240 ± 502 *
Gemüse	134 ± 245	170 ± 271	175 ± 269	193 ± 437
Süßigkeiten	54 ± 123	116 ± 234	54 ± 115	52 ± 99
Knabberartikel	35 ± 98	119 ± 266	26 ± 86	26 ± 48
Limonade	489 ± 781	839 ± 1055	314 ± 622	508 ± 990
Kaffee, schwarzer und grüner Tee	89 ± 342	146 ± 239 **	75 ± 250	279 ± 546 ***
BHEI	56 ± 16	56 ± 17	61 ± 13	54 ± 13**

Angegebene Werte: MW ± SD

* = p < 0,05, ** = p < 0,01, *** = p < 0,001 (U-Test nach Mann-Whitney)

4.1.5 Körperliche Aktivität der Schüler und Schülerinnen

Insgesamt treiben 94,1 % der Schüler und 92,3 % der Schülerinnen Sport. Im Mittel treiben die Schüler 6,9 und die Schülerinnen 5,5 Stunden in der Woche Sport. 38,9 % der Schüler und 30,8 % der Schülerinnen treiben täglich mindestens 60 Minuten Sport.

In Tabelle 4-13 sind weitere Parameter des körperlichen Aktivitätsverhaltens der Schüler und Schülerinnen dargestellt.

Die Schüler verbringen signifikant mehr Zeit mit Medienkonsum, Fahrrad fahren, draußen spielen und schweren sportlichen Aktivitäten als die Schülerinnen. Der Zeitverbrauch für Schlafen und mittelschwere sportliche Aktivitäten unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Geschlechtern. Im Vergleich zu den Schülern verbringen Schülerinnen signifikant mehr Zeit für Hausaufgaben, Haus- und Gartenarbeit, Spazieren gehen sowie leichte und mittelschwere sportliche Aktivitäten. Insgesamt treiben Schüler jedoch signifikant mehr Sport als die Schülerinnen. Dies resultiert bei den Schülern und Schülerinnen in einem mittleren PAL-Wert von 1,53 bzw. 1,41. Die körperliche Aktivität der Kinder und Jugendlichen wird trotz allem als (sehr) niedrig eingestuft (Vgl. Tabelle 4-13).

Tabelle 4-13: Dauer der verschiedenen körperlichen (In-)Aktivitäten der Schüler und Schülerinnen

(In-)Aktivität [Min/d]	Schüler (n = 175) ¹	Schülerinnen (n = 221) ¹
Schlafen	521 ± 80	524 ± 81
Schulzeit	257	257
Hausaufgaben	27 ± 23	34 ± 35 *
Medienkonsum	158 ± 107	109 ± 95 ***
Haus- und Gartenarbeit	15 ± 24	20 ± 25 **
Gehen	24 ± 24	39 ± 40 ***
Fahrrad fahren	19 ± 21	15 ± 17 *
Spiele im Freien	53 ± 58	33 ± 40 ***
Leichte sportliche Aktivitäten	6 ± 17	9 ± 15 ***
Mittelschwere sportliche Aktivitäten	19 ± 25	21 ± 24
Schwere sportliche Aktivitäten	35 ± 38	17 ± 21 ***
Sportliche Aktivitäten, gesamt	59 ± 53	47 ± 39 **
Restzeit	306 ± 153	362 ± 154 ***
PAL	1,53 ± 0,15	1,41 ± 0,09 ***

Angegebene Werte: MW ± SD

¹ Von der Analyse wurden 59 Jungen und 30 Mädchen ausgeschlossen (18,4 %), da sie angaben, mehr als 24 Stunden am Tag körperlich aktiv zu sein.

* p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001 (U-Test nach Mann-Whitney)

Bei den Schülern können keine signifikanten Unterschiede der körperlichen Aktivität bezüglich ihres Bildungshintergrundes gefunden werden. Auch bei den Schülerinnen gibt es diesbezüglich keine Unterschiede mit Ausnahme des Medienkonsums: Schülerinnen, die einen hohen Bildungshintergrund aufweisen, haben einen signifikant niedrigeren Medienkonsum als die Schülerinnen mit einem niedrigen bzw. mittleren Bildungshintergrund. Hinsichtlich des PALs können sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Bildungshintergrundes gefunden werden. Allerdings ist aus den Daten erkennbar, dass der PAL in der Gruppe mit dem höchsten Bildungsniveau am größten ist (Vgl. Tabelle 4-14).

Tabelle 4-14: Körperliche Aktivität der Schüler und Schülerinnen nach Bildungshintergrund

(In-)Aktivität [Min/d]	Bildungshintergrund					
	Schüler			Schülerinnen		
	Niedrig (n = 134)	Mittel (n = 44)	Hoch (n = 49)	Niedrig (n = 143)	Mittel (n = 39)	Hoch (n = 67)
Schlafen	524 ± 91	523 ± 70	512 ± 61	527 ± 86	504 ± 82	528 ± 72
Hausaufgaben	27 ± 24	33 ± 24	22 ± 18	34 ± 40	36 ± 26	36 ± 27
Medienkonsum	173 ± 118	128 ± 79	151 ± 98	110 ± 97	156 ± 115	82 ± 66 **
Haus- und Gartenarbeit	14 ± 16	14 ± 16	18 ± 40	20 ± 22	23 ± 28	20 ± 28
Gehen	24 ± 23	22 ± 17	25 ± 30	41 ± 47	34 ± 21	37 ± 31
Fahrrad fahren	18 ± 21	17 ± 21	22 ± 20	14 ± 18	14 ± 17	16 ± 15
Spielen im Freien	52 ± 59	57 ± 66	54 ± 49	31 ± 37	34 ± 51	37 ± 41
Leichte sportliche Aktivitäten	6 ± 19	6 ± 11	6 ± 17	9 ± 14	10 ± 16	10 ± 16
Mittelschwere sportliche Aktivitäten	18 ± 24	20 ± 26	22 ± 27	20 ± 22	21 ± 20	24 ± 29
Schwere sportliche Aktivitäten	29 ± 25	35 ± 30	45 ± 60	16 ± 20	13 ± 15	22 ± 24
Sportliche Aktivitäten gesamt	53 ± 45	61 ± 49	72 ± 68	44 ± 38	43 ± 36	56 ± 41
PAL	1,51 ± 0,12	1,53 ± 0,16	1,57 ± 0,20	1,41 ± 0,09	1,41 ± 0,08	1,43 ± 0,09

Angegebene Werte: MW ± SD

** = p < 0,01 (H-Test nach Kruskal-Wallis)

Bei den Schülern mit Migrationshintergrund gibt es bezüglich der Schlafdauer und des Gehens bzw. bei den Schülerinnen mit Migrationshintergrund hinsichtlich des Medienkonsums, der Haus- und Gartenarbeit, dem Spielen im Freien, den mittelschweren sportlichen Aktivitäten und den gesamten sportlichen Aktivitäten signifikante Unterschiede. Der PAL unterscheidet sich nicht bei den Schülern und Schülerinnen mit bzw. ohne Migrationshintergrund (Vgl. Tabelle 4-15).

Tabelle 4-15: Körperliche Aktivität der Schüler und Schülerinnen nach Migrationshintergrund

(In-)Aktivität [Min/d]	Migrationshintergrund			
	Schüler		Schülerinnen	
	Nicht vorhanden (n = 190)	Vorhanden (n = 38)	Nicht vorhanden (n = 206)	Vorhanden (n = 40)
Schlafen	515 ± 75	556 ± 105 *	520 ± 78	533 ± 95
Hausaufgaben	26 ± 22	27 ± 23	36 ± 37	26 ± 22
Medienkonsum	161 ± 114	141 ± 69	104 ± 94	132 ± 104 *
Haus- und Gartenarbeit	15 ± 25	17 ± 21	18 ± 22	34 ± 35 **
Gehen	22 ± 24	33 ± 21 **	36 ± 27	61 ± 78
Fahrrad fahren	18 ± 19	20 ± 28	15 ± 17	14 ± 16
Spielen im Freien	55 ± 62	46 ± 37	34 ± 38	25 ± 51 **
Leichte sportliche Aktivitäten	6 ± 18	3 ± 8	10 ± 15	5 ± 8
Mittelschwere sportliche Aktivitäten	20 ± 26	15 ± 15	22 ± 24	15 ± 19 *
Schwere sportliche Aktivitäten	36 ± 40	27 ± 25	17 ± 19	17 ± 29
Sportliche Aktivitäten gesamt	61 ± 56	45 ± 29	49 ± 37	38 ± 46 *
PAL	1,54 ± 0,16	1,49 ± 0,11	1,41 ± 0,08	1,42 ± 0,14

Angegebene Werte: MW ± SD

* = p < 0,05, ** p < 0,01 (U-Test nach Mann-Whitney)

4.1.6 Pubertätsstatus der Schüler und Schülerinnen

Der größte Teil der Schüler und Schülerinnen ist in der Pubertät. Sie werden der midpuberalen bzw. der spätpuberalen Kategorie zugeordnet. Etwa ein Zehntel der Schüler werden dem präpuberalen Stadium zugeordnet und knapp 2 % der Schüler sind bereits im postpuberalen Stadium. Bei den Schülerinnen sind 4 % im präpuberalen Stadium und etwa 10 % werden dem postpuberalen Stadium zugeordnet (Vgl. Tabelle 4-16 S. 108).

Tabelle 4-16: Pubertätsstatus der Schüler und Schülerinnen

Pubertätsstatus	Schüler (n = 177) ¹		Schülerinnen (n = 175) ¹		Gesamt (n = 352) ¹	
	Anzahl	Anteil [%]	Anzahl	Anteil [%]	Anzahl	Anteil [%]
Präpuberale Phase (PH1)	18	10,2	6	3,4	24	6,8
Frühpuberale Phase (PH2)	37	20,9	20	11,4	57	16,2
Midpuberale Phase (PH3)	64	36,2	32	18,3	96	27,3
Spätpuberale Phase (PH4)	55	31,0	99	56,6	154	43,8
Postpuberale Phase (PH5)	3	1,7	18	10,3	21	6,0

¹ Bei 55 Jungen und 76 Mädchen (insgesamt 27,1 %) fehlen (vollständige) Angaben zum Pubertätsstatus.

Die Darstellung des mittleren Alters für jede Pubertätsstufe zeigt einen früheren Beginn der Pubertät bei den Schülerinnen im Vergleich zu den Schülern. Zudem sind die Schülerinnen deutlich jünger beim Erreichen der nächst höheren Pubertätsstufe. Das Alter beim Eintritt der ersten Regelblutung beträgt bei den Schülerinnen im Mittel 12 Jahre. Die Schüler sind im Mittel 13 Jahre, wenn der Stimmbruch einsetzt (Vgl. Anhang A 4-11 S. 257).

4.1.7 Weitere Charakteristika

1) Aufenthaltsdauer im Freien

Im Mittel verbringen die Schüler (n = 208) $3,8 \pm 1,8$ Stunden und die Schülerinnen (n = 236) $3,5 \pm 1,8$ Stunden täglich im Freien.

Hinsichtlich der täglichen Aufenthaltsdauer im Freien können bei den Schülern und Schülerinnen keine signifikanten Unterschiede gefunden werden, wenn diese nach Bildungshintergrund (Vgl. Anhang A 4-12 S. 258) oder nach Migrationshintergrund (Vgl. Anhang A 4-13 S. 258) eingeteilt werden.

2) Rauchstatus

5,6 % der Schüler rauchen regelmäßig oder bei besonderen Gelegenheiten. Bei den Schülerinnen sind es dagegen 9,2 %. Der größte Teil der Schüler und Schülerinnen hat noch nie geraucht oder hat mit dem Rauchen aufgehört (92,6 %) (Vgl. Tabelle 4-17 S. 109).

Tabelle 4-17: Rauchstatus der Schüler und Schülerinnen

	Schüler (n = 232)		Schülerinnen (n = 251)		Gesamt (n = 483)	
Rauchstatus	Anzahl	Anteil [%]	Anzahl	Anteil [%]	Anzahl	Anteil [%]
Nichtraucher	205	88,4	218	86,8	423	87,6
Ehemaliger Raucher	14	6,0	10	4,0	24	5,0
Gelegenheitsraucher	5	2,2	8	3,2	13	2,7
Raucher	8	3,4	15	6,0	23	4,8

Hinsichtlich des Bildungsstands können keine Unterschiede im Rauchverhalten bei Schülern und Schülerinnen gefunden werden (Vgl. Anhang A 4-14 S. 258). Schüler mit einem Migrationshintergrund sind häufiger Raucher als Schüler ohne. Bei den Schülerinnen können keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. (Vgl. Tabelle 4-18).

Tabelle 4-18: Rauchstatus nach Migrationshintergrund

	Migrationshintergrund			
	Schüler		Schülerinnen	
Rauchstatus [%]	Nicht vorhanden (n = 190)	Vorhanden (n = 38)	Nicht vorhanden (n = 206)	vorhanden (n = 40)
Nichtraucher ¹	95,7	86,8	92,7	85,0
Raucher ²	4,3	13,2	7,3	15,0
Chi-Quadrat-Test	p < 0,05		n. s.	

¹ Zu den Nichtrauchern zählen ehemalige Raucher und Nichtraucher.

² Zu den Rauchern zählen Gelegenheitsraucher und Raucher.

3) Gesundheitsstatus

18,7 % der Schüler und 9,6 % der Schülerinnen leiden an mindestens einer Erkrankung. Am häufigsten sind sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen Allergien genannt worden (12,0 % bzw. 3,2 %). Darunter fallen Allergien, die nicht weiter spezifiziert wurden, Heuschnupfen, Asthma bronchiale und atopische Ekzeme wie beispielsweise Neurodermitis. Insgesamt sind mehr Schüler von Allergien betroffen als Schülerinnen. Bei den Schülerinnen treten neben den Allergien am zweithäufigsten Schilddrüsenerkrankungen auf. Bei den Schülern wird am zweithäufigsten ADHS angegeben (Vgl. Anhang A 4-15 S. 259).

Etwa ein Viertel der Schüler (26,3 %) und etwa ein Fünftel der Schülerinnen (21,9 %) erlitten bereits Frakturen. Am Häufigsten traten bei den Schülern und Schülerinnen Frakturen der oberen Extremitäten wie Unterarm, Hand bzw. Handgelenk etc. und der unteren Extremitäten wie Schienbein, Knöchel etc. auf. Die meisten Schüler und Schülerinnen erlitten bisher nur eine einzige Fraktur. Einige wenige Schüler und Schülerinnen brachen sich mehrmals verschiedene Körperteile (Vgl. Anhang A 4-15 S. 259).

7,8 % der Schüler und 6,0 % der Schülerinnen nehmen regelmäßig Medikamente ein, wobei nicht bei allen ein Medikament genau benannt wird (Vgl. Anhang A 4-15 S. 259). Als häufigste Gründe für die Medikamenteneinnahme werden bei den Schülern ADHS, Schilddrüsenerkrankungen, Heuschnupfen und Konzentrationsstörungen genannt. Bei den Schülerinnen sind es die Schilddrüsenerkrankungen. 6,4 % der Schülerinnen nehmen die Anti-Baby-Pille ein. Der größte Teil dieser Schülerinnen (75 %) nimmt die Pille seit einem halben bzw. seit einem Jahr ein. Der kleinste Teil der Schülerinnen nimmt die Pille bereits seit drei Jahren ein.

58,9 % der Schüler und 64,0 % der Schülerinnen haben regelmäßig im ersten Lebensjahr ein Vitamin D-Supplement eingenommen. Knapp ein Fünftel der Schüler und Schülerinnen haben nie ein Vitamin D-Supplement eingenommen (Vgl. Anhang 4-15 S. 259).

Hinsichtlich des Bildungshintergrundes (Vgl. Anhang A 4-16 S. 260) und des Migrationshintergrundes (Vgl. Anhang A 4-17 S. 260) gibt es keine signifikanten Unterschiede im Gesundheitsstatus.

4.2 Ergebnisse methodischer Art

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die Auswahl einer geeigneten Formel zur Berechnung der Körperzusammensetzung aus den Messwerten der BIA (Vgl. Kapitel 3.2.2 S. 70) sowie die Ergebnisse der Reproduzierbarkeitsanalyse (Vgl. Kapitel 3.3 S. 90) präsentiert.

4.2.1 Ergebnisse zur Körperzusammensetzung in Abhängigkeit der ausgewählten Formeln

Probanden

Für die Auswahl einer Formel zur Berechnung der Körperzusammensetzung werden die Daten der 486 Schüler und Schülerinnen genutzt (Vgl. Kapitel 4.1.2 S. 95; Tabelle 4-6 S. 98). Aufgrund von Erkrankungen am Herzen bzw. Herzfehlern konnte bei einem Schüler und einer Schülerin die Messung nicht durchgeführt werden. Bei einem weiteren Probanden lagen keine Messwerte vor.

Die gemessenen Werte für Resistanz und Reaktanz mittels der BIA sind in Tabelle 4-19 aufgeführt.

Tabelle 4-19: Resistanz und Reaktanz der Schüler und Schülerinnen, bei denen die FFM aus den Messergebnissen der BIA berechnet werden

		Schüler (n = 232)	Schülerinnen (n = 251)
Resistenz [Ω]	MW \pm SD	598,3 \pm 86,8	664,4 \pm 75,0
	Min - Max	407,0-829,0	416,0-916,0
Reaktanz [Ω]	MW \pm SD	57,9 \pm 7,1	60,3 \pm 7,3
	Min - Max	40,0-78,0	43,0-83,0

Berechnung der fettfreien Masse

Die mit den sieben Gleichungen sowie mit der integrierten Formel des Herstellers berechnete absolute fettfreie Masse und der prozentuale Anteil der fettfreien Masse am Körpergewicht sind für Schüler in Tabelle 4-20 (S. 112) und für Schülerinnen in Tabelle 4-21 (S. 113) dargestellt. Mittels des Friedman-Tests können signifikante Unterschiede zwischen den berechneten Werten der Körperzusammensetzung bei Schülern und Schülerinnen ermittelt werden.

Tabelle 4-20: Absolute fettfreie Masse sowie der prozentuale Anteil der fettfreien Masse am Körpergewicht der Schüler, ermittelt mittels BIA und berechnet anhand verschiedener Formeln

Studie	Fettfreie Masse der Schüler (n = 232)				
	FFM	MW ± SD	Median (5.-95. Perzentile)	Min	Max
Data Input (FFM-DataInput)	[kg]	41,8 ± 10,6	41,2 (26,9-58,4)	19,9	65,3
	[%]	82,0 ± 6,7	82,6 (69,7-91,7)	62,7	100,7
Deurenberg et al. (1990) 1 (FFM-De 1)	[kg]	40,0 ± 11,0	39,0 (25,0-57,1)	16,7	66,9
	[%]	78,0 ± 6,8	78,1 (64,8-88,5)	58,2	96,6
Deurenberg et al. (1990) 2 (FFM-De 2)	[kg]	40,2 ± 10,1	39,7 (25,8-56,8)	17,9	63,1
	[%]	78,7 ± 5,5	79,2 (68,5-86,3)	62,9	94,8
Deurenberg et al. (1991) 3 (FFM-De 3)	[kg]	40,4 ± 10,7	39,3 (25,4-57,0)	17,4	65,3
	[%]	78,9 ± 5,4	79,0 (69,5-88,3)	63,9	93,9
Horlick et al. (2002) (FFM-Ho)	[kg]	43,8 ± 11,0	42,7 (28,8-60,6)	22,9	67,7
	[%]	86,2 ± 8,9	87,0 (69,3-98,7)	62,1	114,0
Plachta-Danielzik et al. (2012) (FFM-PI)	[kg]	41,7 ± 10,5	40,6 (27,3-58,3)	20,4	63,6
	[%]	81,8 ± 7,3	82,8 (68,1-90,8)	61,8	102,5
Schaefer et al. (1994) (FFM-Sc)	[kg]	38,7 ± 8,9	37,9 (26,5-52,5)	22,0	58,2
	[%]	76,7 ± 9,0	77,7 (60,4-89,4)	52,5	110,0
Suprasongsin et al. (1995) (FFM-Su)	[kg]	44,8 ± 11,7	43,7 (28,1-63,9)	19,7	72,2
	[%]	87,5 ± 5,5	87,7 (77,1-95,7)	71,3	103,0
Friedman-Test		p < 0,001			

Tabelle 4-21: Absolute fettfreie Masse sowie der prozentuale Anteil der fettfreien Masse am Körpergewicht der Schülerinnen, ermittelt mittels BIA und berechnet anhand verschiedener Formeln

Studie	Fettfreie Masse der Schülerinnen (n = 251)				
	FFM	MW ± SD	Median (5.-95. Perzentil)	Min	Max
Data Input (FFM-DataInput)	[kg]	37,5 ± 8,2	37,3 (24,2-49,5)	17,8	86,6
	[%]	74,9 ± 7,6	75,5 (62,4-85,1)	45,0	90,3
Deurenberg et al. (1990) 1 (FFM-De 1)	[kg]	36,4 ± 8,3	36,3 (23,0-49,1)	15,2	77,4
	[%]	72,3 ± 5,8	73,1 (62,0-80,7)	53,4	83,9
Deurenberg et al. (1990) 2 (FFM-De 2)	[kg]	35,3 ± 7,9	35,1 (22,9-47,2)	15,3	73,7
	[%]	70,1 ± 5,5	70,8 (60,8-77,9)	49,7	82,3
Deurenberg et al. (1991) 3 (FFM-De 3)	[kg]	36,4 ± 8,2	36,4 (23,6-48,6)	16,2	78,5
	[%]	72,4 ± 5,3	73,1 (63,4-80,0)	48,2	83,5
Horlick et al. (2002) (FFM-Ho)	[kg]	37,6 ± 6,9	38,0 (25,8-48,4)	19,4	64,5
	[%]	75,8 ± 9,3	77,2 (59,4-89,3)	43,2	94,5
Plachta-Danielzik et al. (2012) (FFM-PI)	[kg]	37,4 ± 7,3	37,6 (25,6-48,7)	19,1	68,0
	[%]	75,0 ± 8,0	76,7 (61,1-86,1)	46,0	96,8
Schaefer et al. (1994) (FFM-Sc)	[kg]	34,1 ± 5,5	35,0 (24,1-42,6)	19,0	53,9
	[%]	69,2 ± 10,1	70,9 (51,3-84,5)	34,2	88,9
Suprasongsin et al. (1995) (FFM-Su)	[kg]	41,1 ± 9,5	40,5 (26,5-55,7)	18,6	90,2
	[%]	81,5 ± 5,6	82,2 (72,2-90,0)	61,2	94,1
Friedman-Test		p < 0,001			

Im Mittel wird sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen die niedrigste fettfreie Masse mit der Formel von Schaefer et al. (1994) erzielt. Die höchste mittlere fettfreie Masse wird für beide Geschlechter mittels der Formel von Suprasongsin et al. (1995) ermittelt. Die Differenz zwischen der niedrigsten und der höchsten berechneten mittleren fettfreien Masse beträgt bei den Schülern 6,1 kg und bei den Schülerinnen 7,0 kg.

Um die Stärke des Zusammenhangs zwischen den einzelnen berechneten Daten zur fettfreien Masse zu untersuchen, werden die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für alle Formelpaare getrennt nach Geschlecht ermittelt (Vgl. Tabelle 4-22 S. 114 und Tabelle 4-23 S. 114). Zwischen allen eingesetzten Formeln können hoch signifikante Zusammenhänge ($p < 0,001$) hinsichtlich der berechneten fettfreien Masse sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen nachgewiesen werden. Bei den Schülern liegen die beobachteten Korrelationen zwischen 0,971 und 0,999 und bei den Schülerinnen zwischen 0,847 und 0,997.

Tabelle 4-22: Zusammenhang zwischen den mit der BIA ermittelten, anhand verschiedener Formeln berechneten Werte zur FFM [kg] bei Schülern

FFM	Schüler (n = 232)						
	FFM-DataInput	FFm-De1	FFM-De2	FFM-De3	FFM-Ho	FFM-PI	FFM-Sc
FFM-De1	r = 0,990						
FFM-De2	r = 0,997	r = 0,991					
FFM-De3	r = 0,991	r = 0,995	r = 0,995				
FFM-Ho	r = 0,993	r = 0,991	r = 0,988	r = 0,984			
FFM-PI	r = 0,992	r = 0,992	r = 0,993	r = 0,989	r = 0,992		
FFM-Sc	r = 0,984	r = 0,982	r = 0,977	r = 0,971	r = 0,997	r = 0,986	
FFM-Su	r = 0,996	r = 0,988	r = 0,999	r = 0,995	r = 0,985	r = 0,989	r = 0,971

Angegebene Werte: Korrelationskoeffizient (r) nach Spearman, alle Korrelationskoeffizienten $p < 0,001$

Tabelle 4-23: Zusammenhang zwischen den mit der BIA ermittelten, anhand verschiedener Formeln berechneten Werte zur FFM [kg] bei Schülerinnen

FFM	Schülerinnen (n = 251)						
	FFM-DataInput	FFm-De1	FFM-De2	FFM-De3	FFM-Ho	FFM-PI	FFM-Sc
FFM-De1	r = 0,972						
FFM-De2	r = 0,982	r = 0,993					
FFM-De3	r = 0,862	r = 0,898	r = 0,893				
FFM-Ho	r = 0,968	r = 0,968	r = 0,973	r = 0,871			
FFM-PI	r = 0,963	r = 0,980	r = 0,979	r = 0,903	r = 0,981		
FFM-Sc	r = 0,936	r = 0,934	r = 0,937	r = 0,847	r = 0,990	r = 0,962	
FFM-Su	r = 0,981	r = 0,989	r = 0,997	r = 0,893	r = 0,964	r = 0,972	r = 0,922

Angegebene Werte: Korrelationskoeffizient (r) nach Spearman, alle Korrelationskoeffizienten $p < 0,001$

4.2.2 Ergebnisse zur Reproduzierbarkeit des Fragebogens

4.2.2.1 Teilnehmer und Teilnehmerinnen

In Tabelle 4-24 sind die Charakteristika der Jungen und Mädchen, die an der Reproduzierbarkeitsstudie⁶ teilgenommen haben, dargestellt.

Sieben Fälle wurden von der Analyse ausgeschlossen, da sich das Geburtsdatum oder das Geschlecht von der ersten bzw. der zweiten Erhebung unterschieden oder in der ersten Befragung kein Geburtsdatum angegeben war. Somit besteht das Kollektiv aus 102 Jungen und 90 Mädchen.

Beide Geschlechter sind weitestgehend gleich verteilt. Im Mittel sind die Jungen und Mädchen $13,3 \pm 1,3$ bzw. $13,5 \pm 1,4$ Jahre alt. Der größte Anteil sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen besucht das Gymnasium (44,1 bzw. 36,7 %). Der kleinste Teil der Jungen und Mädchen besucht die Haupt- bzw. Werkrealschule (25,5 bzw. 27,8 %). Zum Zeitpunkt der ersten Befragung gab die Mehrheit der Jungen und Mädchen an, nicht zu rauchen (95,1 bzw. 92,2 %). Im Vergleich zu den Jungen rauchen Mädchen etwas häufiger (4,9 vs. 7,8 %). Hinsichtlich des Pubertätsstatus ist der größte Teil der Jungen und Mädchen bereits in der Pubertät (88,0 bzw. 89,5 %).

Zwischen der ersten und zweiten Befragung liegen im Mittel $20,2 \pm 4,5$ Tage.

Tabelle 4-24: Beschreibung der Jungen und Mädchen der Reproduzierbarkeitsstudie

	Jungen (n = 102)	Mädchen (n = 90)
Alter [Jahre]	13,3 ± 1,3	13,5 ± 1,4
Schultyp [%]		
Hauptschule	25,5	27,8
Realschule	30,4	35,5
Gymnasium	44,1	36,7
Rauchstatus [%]		
Nichtraucher	95,1	92,2
Raucher	4,9	7,8
Pubertätsstatus [%] ¹		
Präpuberale Phase	10,0	1,2
Frühpuberale Phase	26,7	9,5
Midpuberale Phase	36,7	15,5
Spätpuberale Phase	26,6	73,8
Postpuberale Phase	0	0

Angegebene Werte: MW ± SD bzw. relative Häufigkeiten

Alle dargestellten Angaben beziehen sich auf die 1. Befragung.

¹ Die Reproduzierbarkeit des Fragebogenteils zur Pubertät kann als gut eingestuft werden (Vgl. Anhang A 4-22 S. 265 und Anhang A 4-23 S. 265).

⁶ Die Reproduzierbarkeitsstudie wurde an 3 Schulen aus Baden-Württemberg mit 199 Schüler und Schülerinnen der Klassen 5 bis 9 durchgeführt (Vgl. Kapitel 3.3 S. 90).

4.2.2.2 Lebensmittelverzehr

Ein Fall wurde von der Analyse zusätzlich ausgeschlossen, da mehr als die Hälfte der Lebensmittelitems fehlte. Somit besteht das Kollektiv, welches für die Reproduzierbarkeitsanalyse des Verzehrhäufigkeitsfragebogens herangezogen wird, aus 102 Jungen und 89 Mädchen. Zum Zeitpunkt der ersten Befragung waren die Jungen und Mädchen zwischen 10 und 17 Jahre alt.

Beim Vergleich der täglichen mittleren Verzehrmenen zwischen der ersten und zweiten Befragung ergeben sich signifikante Unterschiede für Milch, Brot, Wurst und Obst. Die Jungen und Mädchen gaben während der zweiten Befragung geringere Verzehrmenen an. Hinsichtlich des BHEI ergeben sich zwischen den beiden Befragungen keine signifikanten Unterschiede (Vgl. Tabelle 4-25).

Die Ergebnisse der Reproduzierbarkeitsanalyse des Verzehrhäufigkeitsfragebogens sind in Tabelle 4-25 zusammengefasst. Die Korrelationskoeffizienten nach Spearman reichen von 0,46 bis 0,72. Der Korrelationskoeffizient ist am niedrigsten für Brot und am höchsten für Käse. Alle Korrelationskoeffizienten sind unterschiedlich von 0 ($p < 0,01$).

Tabelle 4-25: Mittlere Verzehrmenen sowie Korrelationskoeffizienten nach Spearman des Verzehrhäufigkeitsfragebogens während der 1 und 2. Befragung

Lebensmittelgruppe und BHEI	Verzehrmenge [g/d bzw. mL/d] der 1. Befragung (n = 191)	Verzehrmenge [g/d bzw. mL/d] der 2. Befragung (n = 191)	Korrelationskoeffizient nach Spearman (n = 191)
Milch	353 ± 420	241 ± 302 ***	0,52
Käse	21 ± 38	18 ± 33	0,72
Frischkäse	9 ± 26	7 ± 17	0,70
Brot	106 ± 113	90 ± 113 **	0,46
Fleisch	85 ± 183	68 ± 137	0,49
Wurst	31 ± 49	23 ± 36 **	0,67
Fisch	14 ± 42	13 ± 38	0,56
Obst	305 ± 452	209 ± 304 **	0,58
Gemüse	137 ± 240	119 ± 220	0,47
Süßigkeiten	55 ± 112	50 ± 115	0,59
Knabberartikel	27 ± 78	28 ± 97	0,61
Limonade	407 ± 829	351 ± 785	0,63
Kaffee, schwarzer und grüner Tee	61 ± 182	66 ± 185	0,61
BHEI	59 ± 13	58 ± 13	0,50

Angegebene Werte: MW ± SD, alle Korrelationskoeffizienten $p < 0,01$

** = $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ (Wilcoxon-Test)

Insgesamt sind keine konsistenten Unterschiede bei den Korrelationskoeffizienten zwischen Jungen und Mädchen (Vgl. Anhang A 4-18 S. 261) sowie zwischen den Altersgruppen feststellbar (Vgl. Anhang A 4-19 S. 262).

4.2.2.3 Körperliche Aktivität

Bei der ersten und zweiten Befragung überschätzten 14 Jungen und 7 Mädchen ihre körperliche Aktivität, da bei ihnen negative Restminuten auftraten. Aufgrund dessen wurden die Jungen und Mädchen von der folgenden Analyse ausgeschlossen, die angaben, mehr als 24 h am Tag körperlich aktiv zu sein. Somit besteht das Kollektiv, welches für die Reproduzierbarkeitsanalyse des Fragebogens zur körperlichen Aktivität herangezogen wird, aus 88 Jungen und 83 Mädchen. Zum Zeitpunkt der ersten Befragung waren die Jungen und Mädchen zwischen 10 und 17 Jahre alt.

Beim Vergleich der täglichen mittleren Dauer der verschiedenen Aktivitäten zwischen der ersten und zweiten Befragung ergeben sich signifikante Unterschiede bei der Dauer der Hausaufgaben und der Dauer des Fahrradfahrens. Die Jungen und Mädchen gaben bei der zweiten Befragung für Hausaufgaben eine geringere Dauer und für Fahrrad fahren eine höhere Dauer an (Vgl. Tabelle 4-26 S. 118). Bei allen anderen Aktivitäten ist die mittlere Dauer etwa gleich.

Die Ergebnisse der Reproduzierbarkeitsanalyse des Fragebogens zur körperlichen Aktivität sind in Tabelle 4-26 (S. 118) zusammengefasst. Die Korrelationskoeffizienten nach Spearman reichen von 0,38 für leichte sportliche Aktivitäten bis 0,74 für schwere körperliche Aktivitäten. Alle Korrelationskoeffizienten sind unterschiedlich von 0 ($p < 0,01$).

Tabelle 4-26: Mittlere Dauer verschiedener Aktivitäten [min/d] sowie Korrelationskoeffizienten nach Spearman des Fragebogens zur körperlichen Aktivität während der 1. und 2. Befragung

(In-)Aktivitäten	Dauer [min/d] der 1. Befragung (n = 171)	Dauer [min/d] der 2. Befragung (n = 171)	Korrelations- koeffizient nach Spearman r
Schlafen	522 ± 86	519 ± 82	0,73
Medien	111 ± 85	114 ± 85	0,64
Hausaufgaben	36 ± 34	32 ± 21 *	0,61
Haus- und Gartenarbeit	16 ± 31	14 ± 21	0,56
Gehen	32 ± 51	31 ± 32	0,54
Fahrrad fahren	20 ± 25	24 ± 31 *	0,59
Draußen spielen	29 ± 34	30 ± 30	0,47
Sport, leicht	7 ± 14	7 ± 12	0,38
Sport, mittel	20 ± 24	20 ± 27	0,64
Sport, schwer	27 ± 32	29 ± 32	0,74
Sport, gesamt	54 ± 46	56 ± 44	0,72
Restzeit	362 ± 149	362 ± 141	0,58

Angegebene Werte: MW ± SD, alle Korrelationskoeffizienten $p < 0,01$

* = $p < 0,05$ (Wilcoxon-Test)

Es können keine konsistenten Unterschiede zwischen den Geschlechtern (Vgl. Anhang A 4-20 S. 263) oder zwischen den verschiedenen Altersgruppen (Vgl. Anhang A 4-21 S. 264) bei der erneuten Befragung zur körperlichen Aktivität gefunden werden.

4.3 Knochenmasse

4.3.1 Knochenmasse in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht

Die Knochendichteparameter, die mithilfe der quantitativen Ultrasonometrie am Fersenbein ermittelt wurden, unterscheiden sich zwischen den Geschlechtern im Mittel nicht signifikant voneinander (Vgl. Tabelle 4-27).

Tabelle 4-27: Knochenmasseparameter der Schüler und Schülerinnen

	Schüler (n = 232)	Schülerinnen (n = 250) ^{1, 2}
BUA [db/MHz]	110 ± 16	111 ± 18
SOS [m/s]	1571 ± 34	1570 ± 28
SI	94 ± 19	94 ± 18

Angegebene Werte: MW ± SD

BUA = Breitband-Ultraschallabschwächung; SI = Steifigkeitsindex; SOS = Ultraschallgeschwindigkeit

¹ Bei einer Schülerin war die Messung mittels QUS nicht möglich.

² U-Test nach Mann-Whitney n. s.

Mit steigendem Alter nehmen die Knochendichteparameter wie die Breitband-Ultraschallabschwächung (BUA) (Vgl. Tabelle 4-28), die Ultraschall-Geschwindigkeit (SOS) (Vgl. Tabelle 4-29) und der Steifigkeitsindex (SI) (Vgl. Tabelle 4-30) sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen zu. In der Altersgruppe der 13-Jährigen unterscheiden sich die Knochendichteparameter signifikant zwischen den Geschlechtern. BUA, SOS und SI sind bei den Schülerinnen signifikant höher als bei den Schülern (Vgl. Tabelle 4-28, Tabelle 4-29 S. 120, Tabelle 4-30 S. 120).

Tabelle 4-28: Breitbandultraschall-Abschwächung nach Geschlecht und Altersklasse

Altersklasse [J] (Anzahl Schüler/Schülerinnen)	Breitbandultraschall-Abschwächung (BUA) [db/MHz]	
	Schüler	Schülerinnen
10,0-10,9 (15/21)	99 ± 10	95 ± 10
11,0-11,9 (43/58)	101 ± 10	102 ± 13
12,0-12,9 (30/46)	102 ± 9	106 ± 17
13,0-13,9 (42/33)	108 ± 12	115 ± 15 *
14,0-14,9 (45/29)	114 ± 15	117 ± 17
15,0-15,9 (38/36)	121 ± 16	121 ± 15
16,0-16,9 (16/26)	121 ± 17	128 ± 14
17,0-17,9 (3/1)	155 ± 19	106

Angegebene Werte: MW ± SD

* = p < 0,05 (U-Test nach Mann-Whitney)

Tabelle 4-29: Ultraschall-Geschwindigkeit nach Geschlecht und Altersklasse

Altersklasse [J] (Anzahl Schüler/Schülerinnen)	Ultraschall-Geschwindigkeit (SOS) [m/s]	
	Schüler	Schülerinnen
10,0-10,9 (15/21)	1551 ± 22	1551 ± 16
11,0-11,9 (43/58)	1558 ± 17	1560 ± 23
12,0-12,9 (30/46)	1554 ± 23	1562 ± 24
13,0-13,9 (42/33)	1563 ± 28	1579 ± 29 *
14,0-14,9 (45/29)	1578 ± 37	1580 ± 31
15,0-15,9 (38/36)	1587 ± 38	1579 ± 24
16,0-16,9 (16/26)	1606 ± 34	1586 ± 33
17,0-17,9 (3/1)	1630 ± 19	1567

Angegebene Werte: MW ± SD

* = p < 0,05 (U-Test nach Mann-Whitney)

Tabelle 4-30: Steifigkeitsindex nach Geschlecht und Altersklasse

Altersklasse [J] (Anzahl Schüler/Schülerinnen)	Steifigkeitsindex (SI)	
	Schüler	Schülerinnen
10,0-10,9 (15/21)	80 ± 11	78 ± 10
11,0-11,9 (43/58)	84 ± 9	86 ± 13
12,0-12,9 (30/46)	83 ± 11	88 ± 17
13,0-13,9 (42/33)	90 ± 15	99 ± 16 **
14,0-14,9 (45/29)	98 ± 19	101 ± 18
15,0-15,9 (38/36)	106 ± 20	103 ± 15
16,0-16,9 (16/26)	111 ± 16	110 ± 17
17,0-17,9 (3/1)	140 ± 17	90

Angegebene Werte: MW ± SD

** = p < 0,01 (U-Test nach Mann-Whitney)

In Abbildung 4-3 (S. 121) ist die Beziehung zwischen dem Steifigkeitsindex und dem Alter dargestellt. Sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen korreliert der Steifigkeitsindex signifikant positiv mit dem Alter. Bezüglich dieser Beziehung weisen die Schüler einen Korrelationskoeffizienten nach Spearman von $r = 0,545$ ($p < 0,01$) und die Schülerinnen von $0,534$ ($p < 0,01$) auf.

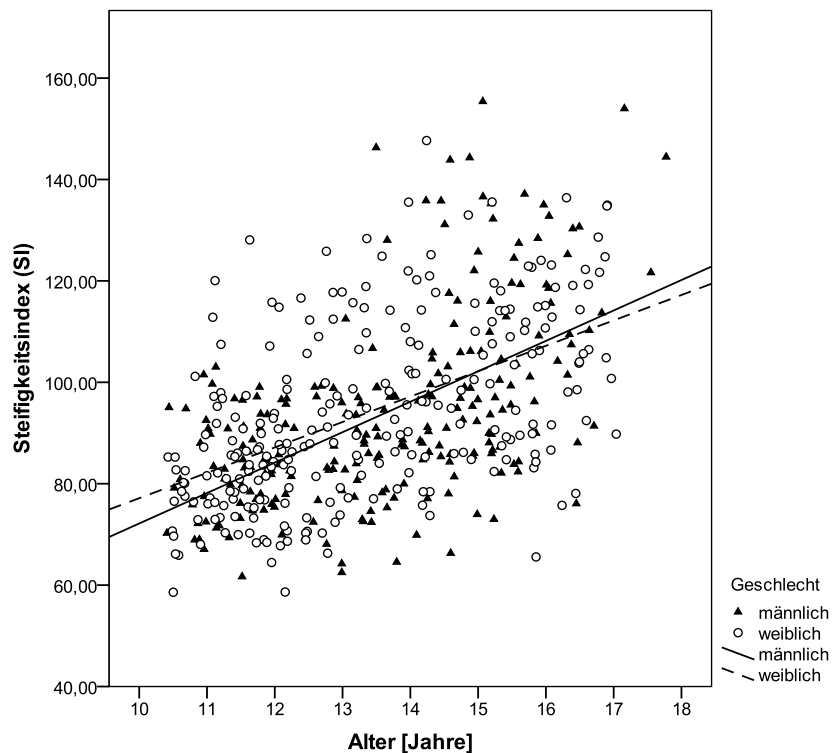


Abbildung 4-3: Zusammenhang zwischen Steifigkeitsindex und Alter
(Ermittelte Werte und Regressionsgeraden)

Der Einfluss des Alters auf den Steifigkeitsindex, der mittels der linearen Regressionsanalyse ermittelt wurde, ist in Tabelle 4-31 dargestellt. Sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen stellt das Alter einen signifikanten Prädiktor des Steifigkeitsindex dar.

Tabelle 4-31: Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses vom Alter auf den Steifigkeitsindex (SI)

	Regressionsgleichung	r	p	R ²	SE
Schüler (n = 232)	$SI = 13,57 + 6,01 \cdot \text{Alter [J]}$	0,558	0,000	0,311	15,46
Schülerinnen (n = 251)	$SI = 28,49 + 5,01 \cdot \text{Alter [J]}$	0,522	0,000	0,272	15,32

Das Alter stellt bei Schülerinnen und bei Schülern ebenfalls einen signifikanten Prädiktor weiterer Knochenmasseparameter wie der BUA und der SOS dar. Der Zusammenhang des Alters auf diese Parameter ist im Anhang für BUA unter A 4-24 (S. 266) sowie für SOS unter A 4-25 (S. 267) dargestellt.

4.3.2 Knochenmasse in Abhängigkeit vom Lebensstil

Im Verlauf dieses Unterkapitels soll der Einfluss der verschiedenen Lebensstilfaktoren (Ernährung, körperliche Aktivität etc.) sowie weiterer Einflussfaktoren (Körperzusammensetzung, Körpergewicht etc.) auf den Steifigkeitsindex untersucht werden.

4.3.2.1 Knochenmasse und Körpergewicht

Sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen bestehen positive Zusammenhänge zwischen dem Steifigkeitsindex und dem Körpergewicht. Bei Schülern beträgt der Korrelationskoeffizient nach Spearman $r = 0,480$ ($p < 0,01$) und bei Schülerinnen $r = 0,503$ ($p < 0,01$).

Das Körpergewicht erweist sich bei der linearen Regressionsanalyse bei beiden Geschlechtern als signifikanter Prädiktor des Steifigkeitsindex (Vgl. Tabelle 4-32).

Tabelle 4-32: Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses vom Körpergewicht (KG) auf den Steifigkeitsindex (SI)

	Regressionsgleichung	r	p	R ²	SE
Schüler (n = 232)	SI = 60,14 + 0,66 * KG [kg]	0,484	0,000	0,231	16,30
Schülerinnen (n = 250)	SI = 64,36 + 0,58 * KG [kg]	0,447	0,000	0,200	16,07

4.3.2.2 Knochenmasse und Body Mass Index

Der Zusammenhang zwischen dem Steifigkeitsindex und dem BMI ist bei beiden Geschlechtern signifikant positiv. SI korreliert mit dem BMI bei Schülern ($r = 0,323$, $p < 0,01$) und bei Schülerinnen ($r = 0,439$, $p < 0,01$).

In Tabelle 4-33 (S. 122) sind die Werte für den Steifigkeitsindex nach der Einteilung des BMI in Untergewicht, Normalgewicht und Übergewicht anhand der Perzentile nach Kromeyer-Hauschild et al. (2001) angegeben. Bei den Schülern mit Untergewicht ist zu erkennen, dass der mittlere Steifigkeitsindex tendenziell niedriger ist als bei denjenigen mit Normal- oder Übergewicht, allerdings ist dieser Unterschied statistisch nicht signifikant. Bei den Schülerinnen hingegen ist dieser Zusammenhang statistisch signifikant. Die übergewichtigen Schülerinnen haben einen höheren Steifigkeitsindex als die unter- und normalgewichtigen Schülerinnen.

Tabelle 4-33: Steifigkeitsindex differenziert nach Body Mass Index

		Einteilung des Body Mass Index in (Anzahl Schüler/Schülerinnen)		
		Untergewicht (25/21)	Normalgewicht (180/184)	Übergewicht (27/45)
SI	Schüler	86 ± 15	94 ± 18	97 ± 23
	Schülerinnen	85 ± 14	94 ± 18	99 ± 17 *

Angegebene Werte: MW ± SD

* = p < 0,05 (H-Test nach Kruskal-Wallis)

Aus der Regressionsanalyse ergibt sich, dass der BMI sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen ein signifikanter Prädiktor des Steifigkeitsindex darstellt (Vgl. Tabelle 4-34).

Tabelle 4-34: Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses vom BMI auf den Steifigkeitsindex

	Regressionsgleichung	r	p	R ²	SE
Schüler (n = 232)	SI = 58,42 + 1,82 * BMI [kg/m ²]	0,320	0,000	0,102	17,66
Schülerinnen (n = 251)	SI = 64,86 + 1,45 * BMI [kg/m ²]	0,356	0,000	0,127	16,78

4.3.2.3 Knochenmasse und fettfreie Masse

Sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen kann eine signifikant positive Korrelation zwischen der fettfreien Masse und dem Steifigkeitsindex nachgewiesen werden. Der Korrelationskoeffizient nach Spearman beträgt bei den Schülern r = 0,559 (p < 0,01) und bei den Schülerinnen r = 0,540 (p < 0,01) (Vgl. Abbildung 4-4 S. 124).

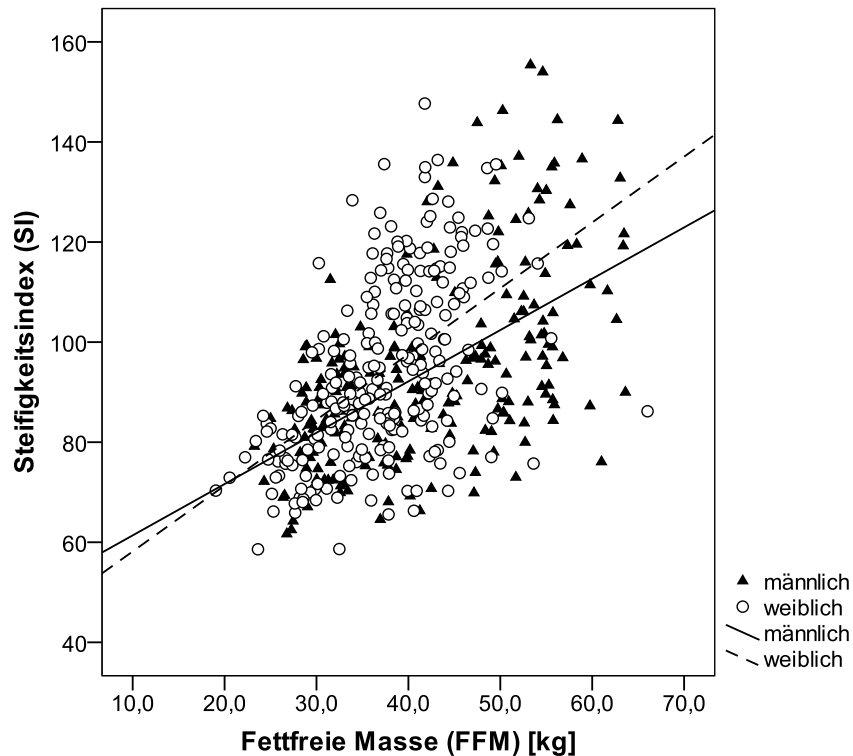


Abbildung 4-4: Zusammenhang zwischen Steifigkeitsindex und fettfreier Masse
(Ermittelte Werte und Regressionsgeraden)

Der prozentuale Anteil der fettfreien Masse am Körpergewicht korreliert bei den Schülern signifikant positiv mit dem Steifigkeitsindex. Hierbei weisen die Schüler einen Spearmanschen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,210$ ($p < 0,01$) auf. Bei den Schülerinnen korreliert die prozentuale fettfreie Masse signifikant negativ mit dem Steifigkeitsindex. Der Korrelationskoeffizient nach Spearman beträgt bei den Schülerinnen $r = -0,260$ ($p < 0,01$) (Vgl. Abbildung 4-5 S. 125).

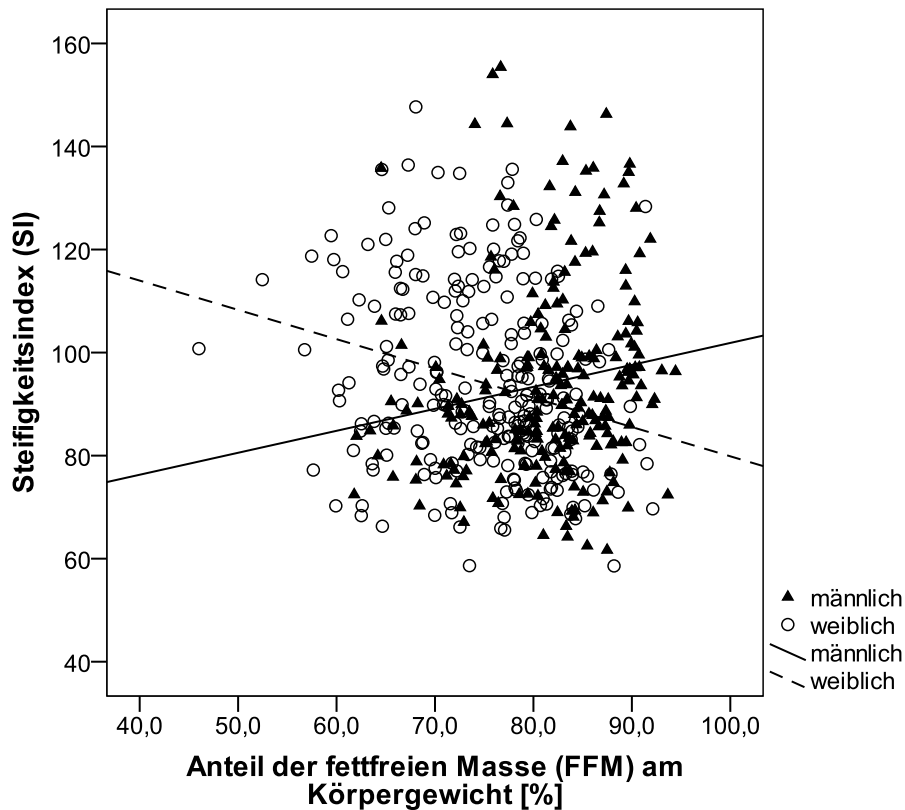


Abbildung 4-5: Zusammenhang zwischen Steifigkeitsindex und dem Anteil der fettfreien Masse am Körpergewicht

(Ermittelte Werte und Regressionsgeraden)

4.3.2.4 Knochenmasse und Fettmasse

Zwischen der Fettmasse und dem Steifigkeitsindex besteht bei den Schülern kein Zusammenhang, während bei den Schülerinnen zwischen diesen beiden Parametern eine signifikant positive Korrelation nachgewiesen werden kann. Der Spearmansche Korrelationskoeffizient beträgt bei den Schülerinnen $r = 0,389$ ($p < 0,01$) (Vgl. Abbildung 4-6 S. 126).

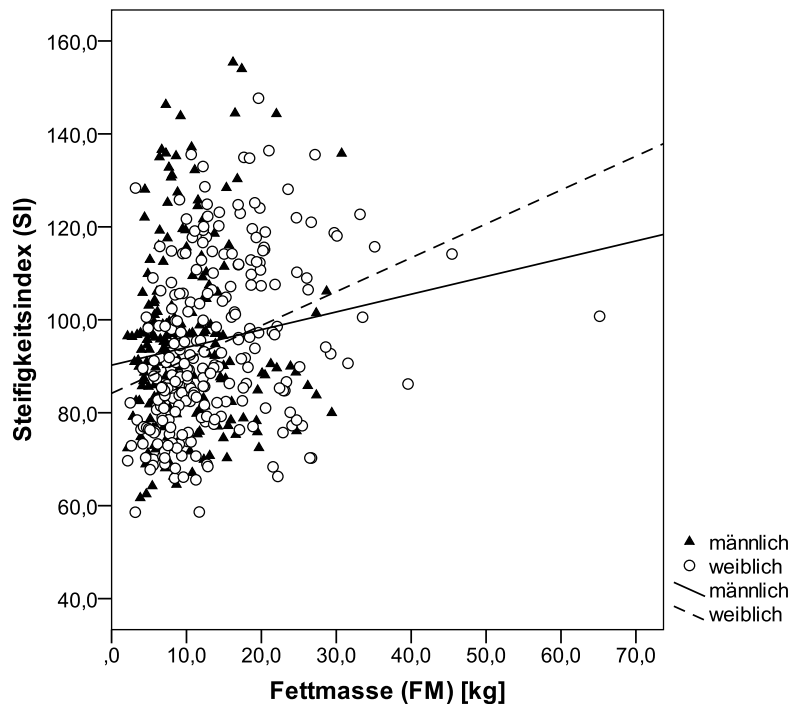


Abbildung 4-6: Zusammenhang zwischen Steifigkeitsindex und Fettmasse

(Ermittelte Werte und Regressionsgeraden)

Mit der linearen Regressionsanalyse kann sowohl die fettfreie Masse als auch die prozentuale fettfreie Masse getrennt nach Geschlecht als ein signifikanter Prädiktor des Steifigkeitsindex nachgewiesen werden (Vgl. Tabelle 4-35). Während die Fettmasse bei den Schülerinnen einen signifikanten Prädiktor des Steifigkeitsindex darstellt, ist dies für die Fettmasse bei den Schülern nicht der Fall.

Tabelle 4-35: Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses von der Körperzusammensetzung auf den Steifigkeitsindex

	Regressionsgleichung	r	p	R ²	SE
Fettfreie Masse [kg]					
Schüler (n = 226)	SI = 51,25 + 1,02 * FFM	0,565	0,000	0,317	15,46
Schülerinnen (n = 249)	SI = 45,00 + 1,32 * FFM	0,509	0,000	0,259	15,43
Fettfreie Masse [%]					
Schüler (n = 226)	SI = 59,27 + 0,42 * FFM	0,157	0,018	0,025	18,51
Schülerinnen (n = 249)	SI = 136,20 - 0,56 * FFM	0,243	0,000	0,059	17,39
Fettmasse [kg]					
Schülerinnen (n = 249)	SI = 84,39 + 0,72 * FM	0,318	0,000	0,101	17,00

Da sich der Anteil der Fettmasse am Körpergewicht reziprok zur prozentualen fettfreien Masse verhält, wird hier der Zusammenhang zwischen der prozentualen Fettmasse und dem Steifigkeitsindex nicht dargestellt.

4.3.2.5 Knochenmasse und Ernährung

Sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen kann keine Korrelation zwischen dem SI und dem Index für eine knochengesunde Ernährung gefunden werden.

Wird der Verzehr der einzelnen Lebensmittel untersucht, lässt sich nur bei den Schülern ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen dem Steifigkeitsindex und dem Fleisch- und Wurstwarenverzehr finden ($r = 0,197$, $p < 0,01$). Zudem zeigte sich eine tendenziell positive Korrelation zwischen dem Steifigkeitsindex und dem Verzehr von pflanzlichen Lebensmitteln (Obst und Gemüse), die allerdings nicht signifikant war ($r = 0,119$, $p < 0,1$).

Bei allen anderen Lebensmitteln kann kein Zusammenhang gefunden werden. Ebenfalls korreliert der SI und der Lebensmittelverzehr bei den Schülerinnen nicht miteinander.

Der tägliche Fischkonsum stellt sich in der linearen Regressionsanalyse bei den Schülern als ein signifikanter Prädiktor des Steifigkeitsindex heraus, wohingegen bei den Schülerinnen kein Einfluss des Fischverzehrs beobachtet werden kann. Der tägliche Verzehr von Kaffee, schwarzem und grünem Tee stellt sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen einen signifikanten Prädiktor des SI dar (Vgl. Tabelle 4-36).

Tabelle 4-36: Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses einzelner Lebensmittelgruppen auf den Steifigkeitsindex

Geschlecht	Regressionsgleichung	r	p	R ²	SE
Fisch					
Schüler (n = 229)	SI = 92,18 + 0,09 * Fisch [g/d]	0,182	0,006	0,033	18,37
Kaffee, schwarzer und grüner Tee					
Schüler (n = 230)	SI = 92,68 + 0,01 * Kaffee, schwarzer und grüner Tee [mL/d]	0,149	0,024	0,022	18,43
Schülerinnen (n = 244)	SI = 93,60 + 0,01 * Kaffee, schwarzer und grüner Tee [mL/d]	0,131	0,042	0,017	17,82

4.3.2.6 Knochenmasse und körperliche Aktivität

Zwischen dem körperlichen Aktivitätslevel (PAL) und dem Steifigkeitsindex können signifikant positive Zusammenhänge bei Schülern und Schülerinnen gefunden werden. Der Korrelationskoeffizient nach Spearman beträgt bei den Schülern $r = 0,233$ ($p < 0,01$) und bei den Schülerinnen $r = 0,196$ ($p < 0,01$) (Vgl. Abbildung 4-7).

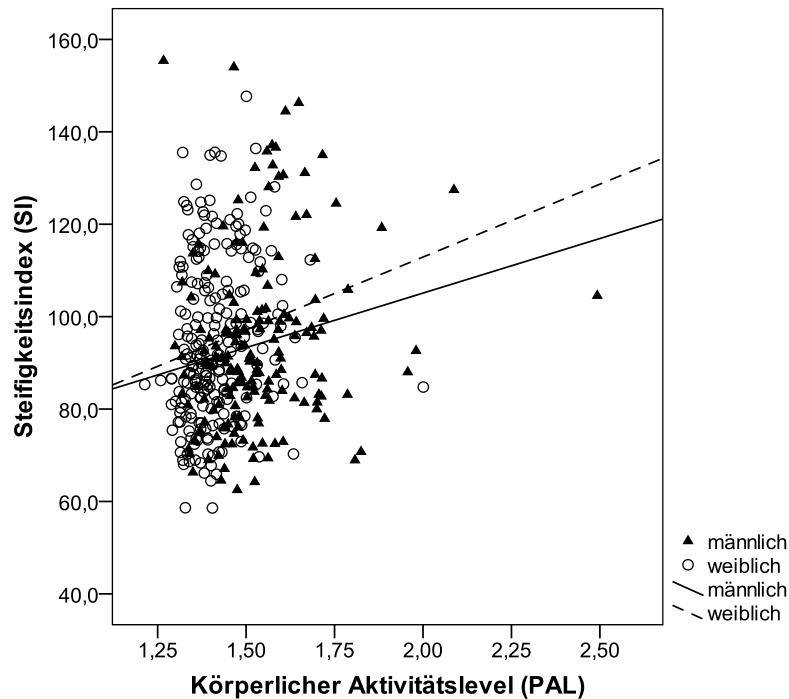


Abbildung 4-7: Zusammenhang zwischen Steifigkeitsindex und körperlichem Aktivitätslevel
(Ermittelte Werte und Regressionsgeraden)

Bei den Schülern können signifikant positive Zusammenhänge zwischen dem Steifigkeitsindex und Sport gesamt, Sport schwer sowie Haus- und Gartenarbeit gefunden werden. Signifikant negative Korrelationen wurden bei den Schülern zwischen dem Steifigkeitsindex und Schlafen, Hausaufgaben machen und Spielen im Freien beobachtet. Im Gegensatz dazu konnten bei den Schülerinnen keine signifikanten Assoziationen zwischen dem SI und verschiedenen Sportintensitäten gefunden werden. Des Weiteren ergibt die Spearman'sche Korrelationsanalyse bei den Schülerinnen einen positiven Zusammenhang zwischen dem Medienkonsum und dem Steifigkeitsindex sowie negative Assoziationen beim Schlafen, Hausaufgaben machen, Fahrradfahren und Spielen im Freien (Vgl. Tabelle 4-37 S. 129).

Tabelle 4-37: Zusammenhang zwischen Steifigkeitsindex und körperlicher (In-)Aktivität bei den Schülern und Schülerinnen

	Korrelationskoeffizient r nach Spearman zwischen SI und Aktivität	
	Schüler (n = 175)	Schülerinnen (n = 221)
Medienkonsum	n. s.	0,268 **
Gehen	n. s.	0,285 **
Spielen im Freien	-0,157 *	-0,170 *
Sport schwer	0,265 **	n. s.
Sport gesamt	0,192 *	n. s.
PAL	0,233 **	0,196 **

* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$ (Korrelation nach Spearman)

In der linearen Regressionsanalyse stellt der PAL getrennt nach Schülern und Schülerinnen einen signifikant positiven Prädiktor des Steifigkeitsindex dar. Schlafen und Hausaufgaben dahingegen haben einen negativen Einfluss auf den Steifigkeitsindex bei beiden Geschlechtern. Bei den Schülern zeigt sich weiterhin, dass sowohl Sport schwer als auch Sport gesamt einen positiven Einfluss auf den Steifigkeitsindex haben. Im Gegensatz dazu kann bei den Schülerinnen ein positiver Einfluss des Gehens und des Medienkonsums auf den Steifigkeitsindex nachgewiesen werden (Vgl. Tabelle 4-38 S. 130).

Tabelle 4-38: Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses von der körperlichen (In-)Aktivität auf den Steifigkeitsindex

	Regressionsgleichung	r	p	R ²	SE
Schlafen [Min/d]					
Schüler (n = 175)	SI = 122,65 – 0,06 * Schlafen	0,236	0,000	0,056	18,21
Schülerinnen (n = 221)	SI = 129,77 – 0,07 * Schlafen	0,311	0,000	0,097	16,84
Medienkonsum [Min/d]					
Schülerinnen (n = 221)	SI = 90,4 + 0,04 * Medienkonsum	0,196	0,004	0,038	17,37
Gehen [Min/d]					
Schülerinnen (n = 221)	SI = 89,28 + 0,13 * Gehen	0,292	0,000	0,085	16,95
Sport schwer [Min/d]					
Schüler (n = 175)	SI = 90,32 + 0,11 * Sport schwer	0,216	0,004	0,047	18,30
Sport gesamt [Min/d]					
Schüler (n = 175)	SI = 90,41 + 0,06 * Sport gesamt	0,171	0,023	0,029	18,46
PAL					
Schüler (n = 175)	SI = 57,85 + 23,62 * PAL	0,190	0,012	0,036	18,40
Schülerinnen (n = 221)	SI = 49,81 + 31,54 * PAL	0,162	0,016	0,026	17,48

4.3.3 Knochenmasse in Abhängigkeit weiterer Einflussfaktoren

4.3.3.1 Knochenmasse und Pubertätsstatus

Die Beziehung zwischen dem Steifigkeitsindex und dem Pubertätsstatus wird in Abbildung 4-8 (S. 131) dargestellt. Sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen werden signifikant positive Zusammenhänge zwischen dem Steifigkeitsindex und der Entwicklung der Reife gefunden. Der Korrelationskoeffizient nach Spearman beträgt bei den Schülern $r = 0,546$ ($p < 0,01$) und bei den Schülerinnen $r = 0,527$ ($p < 0,01$).

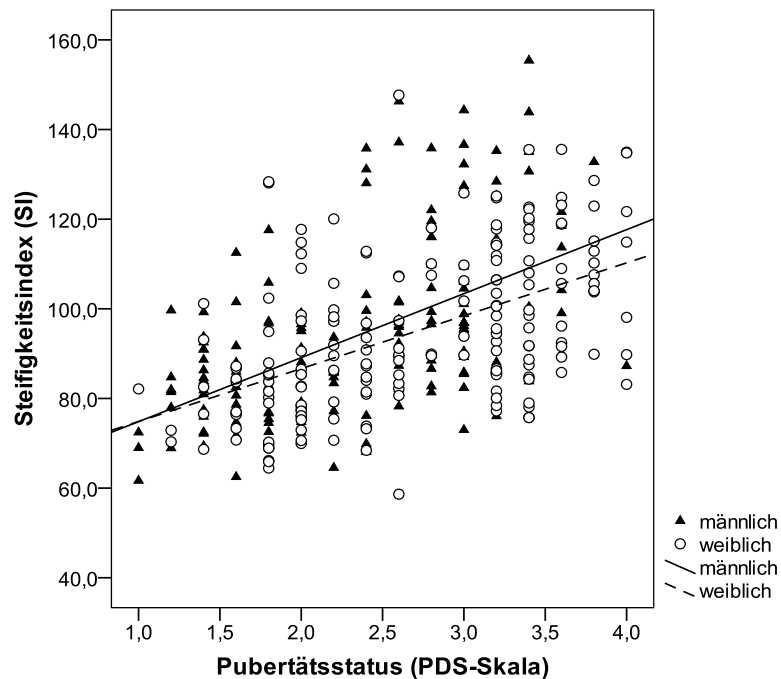


Abbildung 4-8: Zusammenhang zwischen Steifigkeitsindex und Pubertätsstatus (PDS-Skala)
(Ermittelte Werte und Regressionsgeraden)

Bei der Differenzierung des Steifigkeitsindex nach den 5 puberalen Stadien wird deutlich, dass bei den Schülern und Schülerinnen mit zunehmendem Reifegrad der Steifigkeitsindex signifikant größer wird (Vgl. Tabelle 4-39).

Tabelle 4-39: Steifigkeitsindex differenziert nach Pubertätsstatus

		Pubertätsstatus (Anzahl Schüler/Schülerinnen)				
		Präpuberal (18/6)	Frühpuberal (37/20)	Midpuberal (64/32)	Spätpuberal (55/98)	Postpuberal (3/18)
SI	Schüler	84 ± 11	82 ± 10	95 ± 17	109 ± 21,	102 ± 13 ***
	Schülerinnen	83 ± 12	78 ± 14	86 ± 15	101 ± 16	110 ± 16 ***

Angegebene Werte: MW ± SD

*** = $p < 0,001$ (H-Test nach Kruskal-Wallis)

In der linearen Regressionsanalyse stellt der Pubertätsstatus getrennt nach Geschlecht einen signifikanten Prädiktor des SI dar (Vgl. Tabelle 4-40 S. 132).

Tabelle 4-40: Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses vom Pubertätsstatus auf den Steifigkeitsindex

Geschlecht	Regressionsgleichung	r	p	R ²	SE
Schüler (n = 177)	SI = 67,31 + 9,58 * Pubertätsstatus ¹	0,487	0,000	0,237	17,19
Schülerinnen (n = 174)	SI = 60,79 + 9,75 * Pubertätsstatus ¹	0,508	0,000	0,258	15,67

¹ (1 = präpuberal, 2 = frühpuberal, 3 = midpuberal, 4 = spätpuberal, 5 = postpuberal)

4.3.3.2 Knochenmasse und soziodemographische Merkmale

1) Bildungshintergrund

Bei den Schülern werden signifikant positive Korrelationen zwischen dem Steifigkeitsindex und dem Bildungshintergrund beobachtet ($r = 0,174$, $p < 0,01$). Bei den Schülerinnen gibt es keine signifikanten Zusammenhänge ($r = 0,004$, $p = n. s.$).

In Tabelle 4-41 werden die Schüler und Schülerinnen anhand ihres Bildungsniveaus in drei Gruppen eingeteilt. Anschließend wird für die drei verschiedenen Gruppen der Steifigkeitsindex ermittelt. Bei den Schülern nimmt die Knochenmasse mit steigendem Bildungsniveau zu. Obwohl bei den Schülerinnen ebenfalls signifikante Unterschiede beobachtet werden können, ist die Zunahme mit steigendem Bildungsniveau nicht eindeutig. Zunächst nimmt die Knochenmasse vom niedrigen zum mittleren Bildungsniveau zu. Die Schülerinnen, die einem hohen Bildungsstand zugeordnet werden, weisen jedoch einen vergleichbaren Steifigkeitsindex mit den Schülerinnen der niedrigen Bildungsgruppe auf.

Tabelle 4-41: Steifigkeitsindex differenziert nach Bildungshintergrund

		Bildungshintergrund (Anzahl Schüler/Schülerinnen)		
		Niedrig (134/143)	Mittel (44/38)	Hoch (49/67)
SI	Schüler	91 ± 16	95 ± 24	99 ± 20 *
	Schülerinnen	93 ± 17	101 ± 18	92 ± 19 *

Angegebene Werte: MW ± SD

* = $p < 0,05$ (H-Test nach Kruskal-Wallis)

Mittels der linearen Regressionsanalyse kann bei den Jungen das Bildungsniveau als ein signifikanter Prädiktor des Steifigkeitsindex nachgewiesen werden (Vgl. Tabelle 4-42).

Tabelle 4-42: Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses vom Bildungshintergrund auf den Steifigkeitsindex

Geschlecht	Regressionsgleichung	r	p	R ²	SE
Schüler (n = 227)	SI = 87,19 + 4,00 * Bildungshintergrund ¹	0,174	0,009	0,030	18,51

¹ (1 = niedrig, 2 = mittel, 3 = hoch)

2) Migrationshintergrund

Hinsichtlich des Migrationshintergrundes können keine signifikanten Korrelationen bei den Schülern ($r = -0,033$, $p = n. s.$) und Schülerinnen ($r = 0,068$, $p = n. s.$) ermittelt werden.

Werden die Schüler und Schülerinnen anhand des Migrationshintergrundes eingeteilt, können keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des SI beobachtet werden (Vgl. Anhang A 4-26 S. 267).

4.3.3.3 Knochenmasse und Aufenthaltsdauer im Freien

Zwischen dem Steifigkeitsindex und der Aufenthaltsdauer im Freien können bei den Schülern ($r = 0,135$, $p < 0,1$) und Schülerinnen ($r = 0,023$, $p = n. s.$) bei Anwendung der Korrelation nach Spearman keine signifikanten Zusammenhänge gefunden werden.

4.3.3.4 Knochenmasse und Rauchen

Zwischen dem Rauchverhalten und dem Steifigkeitsindex kann sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen ein signifikant positiver Zusammenhang gefunden werden. Die Korrelationskoeffizienten nach Spearman betragen bei den Schülern $r = 0,285$ ($p < 0,01$) und bei den Schülerinnen $r = 0,310$ ($p < 0,01$).

4.3.3.5 Knochenmasse und Kontrazeptiva

Bei den Schülerinnen wird ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen dem Steifigkeitsindex und der Einnahme von Kontrazeptiva ($r = -0,138$, $p < 0,05$) beobachtet.

Wird der Steifigkeitsindex der Schülerinnen hinsichtlich der Einnahme von Kontrazeptiva miteinander verglichen, ist dieser bei den Schülerinnen mit der Einnahme von Kontrazeptiva größer als bei den Schülerinnen, die nicht die Pille einnehmen (Vgl. Tabelle 4-43).

Tabelle 4-43: Steifigkeitsindex der Schülerinnen differenziert nach Einnahme von Kontrazeptiva

		Einnahme Kontrazeptiva (Anzahl Schülerinnen)	
		Nein (n = 233)	Ja (n = 16)
SI	Schülerinnen	93 ± 18	103 ± 14 *

Angegebene Werte: MW ± SD

* = $p < 0,05$ (U-Test nach Mann-Whitney)

Die Einnahme von Kontrazeptiva erweist sich als signifikant negativer Prädiktor des Steifigkeitsindex. (Vgl. Tabelle 4-44).

Tabelle 4-44: Lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses von der Einnahme von Kontrazeptiva auf den Steifigkeitsindex

Geschlecht	Regressionsgleichung	r	p	R ²	SE
Schülerinnen (n = 249)	SI = 113,52 - 10,03 * Kontrazeptiva ¹	0,138	0,030	0,019	17,79

¹ (1 = ja, 2 = nein)

4.3.3.6 Knochenmasse und Vitamin D im ersten Lebensjahr

Sowohl bei den Schülern ($r = -0,098$, $p = n. s.$) als auch bei den Schülerinnen ($-0,005$, $p = n. s.$) können keine signifikanten Zusammenhänge (Korrelation) zwischen der Einnahme eines Vitamin D-Supplements im ersten Lebensjahr gefunden werden. Die Einteilung nach der Häufigkeit der Einnahme von Vitamin D im ersten Lebensjahr ergibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen bei den Schülern und Schülerinnen (Vgl. Anhang A 4-30 S. 268).

4.3.4 Zusammenfassende Betrachtung von Alter, Körperzusammensetzung und verschiedenen Lebensstilfaktoren auf den Steifigkeitsindex

In Tabelle 4-45 sind die Ergebnisse der schrittweisen linearen Regressionsanalyse dargestellt, anhand derer der Einfluss verschiedener Lebensstilfaktoren auf den Steifigkeitsindex genauer untersucht wird. In der Analyse wurden folgende Variablen berücksichtigt: Alter, Geschlecht, FFM, FM, Pubertätsstatus, BHEI, PAL, Aufenthaltsdauer im Freien sowie der Rauchstatus.

Das Alter, die fettfreie Masse, das Geschlecht und die körperliche Aktivität erweisen sich als signifikante Prädiktoren des SI.

31 % der Varianz am SI wird durch das Alter allein erklärt. 4 % der Varianz werden durch die zwei Lebensstilfaktoren Bewegung und Körperzusammensetzung erklärt. Davon entfallen 3 % auf die fettfreie Masse und 1 % auf den körperlichen Aktivitätslevel.

Das restliche 1 % entfällt auf das Geschlecht. Insgesamt werden 36 % der Streuung durch die verschiedenen Einflussfaktoren erklärt. Die Fettmasse, die Aufenthaltsdauer im Freien, der BHEI sowie das Rauchen haben in diesem Modell keinen Einfluss auf den SI.

Tabelle 4-45: Schrittweise lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Lebensstilfaktoren auf den Steifigkeitsindex bei Schülern und Schülerinnen

Regressionsgleichung	r	p	R ²	SE
SI = 23,71 + 5,37 * Alter [J]	0,552	0,000	0,305	15,37
SI = 28,39 + 3,36 * Alter [J] + 0,56 * FFM [kg]	0,584	0,000	0,340	15,00
SI = 27,40 + 2,96 * Alter [J] + 0,66 * FFM [kg] + 3,95 * Geschlecht ¹	0,592	0,000	0,351	14,91
SI = 2,81 + 3,14 * Alter [J] + 0,60 * FFM [kg] + 5,71 * Geschlecht ¹ + 16,07 * PAL	0,601	0,000	0,362	14,81

¹ (0 = männlich, 1 = weiblich)

Wird die Analyse unter Berücksichtigung der oben genannten Einflussfaktoren (Alter, FFM, FM, Pubertätsstatus, BHEI, PAL, Aufenthaltsdauer im Freien und Rauchstatus sowie bei den Schülerinnen zusätzlich Einnahme von Kontrazeptiva) getrennt nach Geschlecht durchgeführt, erweisen sich in der schrittweisen linearen Regression Alter und PAL bei den Schülern als signifikante Prädiktoren des SI, bei den Schülerinnen sind es die FFM und das Alter (Vgl. Tabelle 4-46 S. 136).

Bei den Schülern werden insgesamt 40 % der Streuung, bei den Schülerinnen insgesamt 30 % der Streuung durch diese Einflussfaktoren erklärt. Davon werden bei den Schülern 3 % durch den Lebensstilfaktor körperliche Aktivität erklärt. Bei den Schülerinnen werden allein durch die Körperzusammensetzung bereits 25 % der Streuung aufgeklärt. Bei den Schülern haben die Körperzusammensetzung, der Pubertätsstatus, die Ernährung, die Aufenthaltsdauer im Freien und der Rauchstatus keinen Einfluss auf den Steifigkeitsindex. Bei den Schülerinnen haben die Fettmasse, die Ernährung, die körperliche Aktivität, die Aufenthaltsdauer im Freien, der Rauchstatus und die Einnahme von Kontrazeptiva keinen Einfluss auf den SI.

Tabelle 4-46: Schrittweise lineare Regressionsanalyse zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Lebensstilfaktoren auf den Steifigkeitsindex nach Geschlecht

Geschlecht	Regressionsgleichung	r	p	R²	SE
Schüler (n = 157)	SI = 10,46 + 6,30 * Alter [J]	0,611	0,000	0,373	15,16
	SI = -20,52 + 6,21 * Alter [J] + 21,01 * PAL	0,634	0,000	0,402	14,87
Schülerinnen (n = 208)	SI = 50,15 + 1,22 * FFM [kg]	0,502	0,000	0,247	15,47
	SI = 31,38 + 0,75 * FFM [kg] + 2,70 * Alter [J]	0,549	0,000	0,301	15,01

4.3.5 Identifikation und Beschreibung von Schülern und Schülerinnen mit einem Risiko für eine niedrige Knochenmasse

Um Schüler und Schülerinnen mit einer niedrigen Knochenmasse identifizieren zu können, wurden das 10. Perzentil des SI der sieben verschiedenen Altersgruppen unter Berücksichtigung des Geschlechts herangezogen. Der SI beträgt bei den Schülern und Schülerinnen, die der Risikogruppe zugeordnet wurden, im Mittel 71 ± 6 bzw. 72 ± 8 . Bei den Schülern und Schülerinnen mit einem hohen SI beträgt dieser im Mittel 123 ± 21 bzw. 123 ± 13 . Der SI bei Schülern und Schülerinnen, die der mittleren Gruppe zugeordnet wurden, beträgt jeweils im Mittel 93 ± 15 . Die Schüler und Schülerinnen mit einem Risiko werden im Folgenden mit denen verglichen, die eine mittlere und hohe Knochenmasse (90. Perzentil je Altersgruppe) aufweisen.

Schüler mit einer niedrigen Knochenmasse haben im Vergleich zu Schülern mit einer hohen Knochenmasse einen signifikant niedrigeren BMI, sind signifikant häufiger von Untergewicht betroffen und haben eine signifikant regelmäßigere Vitamin D-Einnahme im ersten Lebensjahr. Auch die Schülerinnen mit einer niedrigen Knochenmasse weisen einen geringeren BMI als Schülerinnen mit einer hohen Knochenmasse auf. Des Weiteren weisen diese Schüler und Schülerinnen tendenziell etwas häufiger einen niedrigen Bildungshintergrund auf. Hinsichtlich der Körperzusammensetzung, des Pubertätsstatus, des Rauchverhaltens, des Gesundheitsstatus und des Migrationshintergrundes können keine Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden werden (Vgl. Tabelle 4-47 S. 138).

Tabelle 4-47: Vergleich zwischen Schülern bzw. Schülerinnen mit niedriger, mittlerer und hoher Knochenmasse

	Schüler			Schülerinnen		
	Niedriger SI (Risikogruppe) (n = 21)	Mittlerer SI (n = 189)	Hoher SI (n = 22)	Niedriger SI (Risikogruppe) (n = 22)	Mittlerer SI (n = 206)	Hoher SI (n = 22)
Soziodemographische Merkmale						
Alter [J]	13,0 ± 1,7	13,3 ± 1,7	13,6 ± 1,9	13,1 ± 2,0	13,1 ± 1,9	13,1 ± 1,9
Bildungshintergrund [%]						
Niedrig	61,9	60,0	47,6	68,2	56,6	54,5
Mittel	19,0	19,5	19,0	9,1	16,6	13,6
Hoch	19,0	20,5	33,3	22,7	26,8	31,8
Chi-Quadrat-Test	n. s.			n. s.		
Migrationshintergrund vorhanden [%]	14,3	16,4	22,7	13,6	15,7	25,0
Chi-Quadrat-Test	n. s.			n. s.		
Anthropometrische Daten und Körperzusammensetzung						
Körpergewicht [kg]	44,9 ± 14,6	51,3 ± 13,2	55,3 ± 15,7	48,2 ± 13,7	51,2 ± 15,4	54,7 ± 9,6
Körpergröße [cm]	156 ± 14	161 ± 13	163 ± 14	159 ± 13	158 ± 10	159 ± 8
BMI [kg/m²]	18,0 ± 4,0	19,4 ± 3,1	20,4 ± 3,6 *	18,7 ± 3,1	20,2 ± 5,0	21,6 ± 3,2 *
Einteilung BMI [%]						
Untergewicht	28,6	9,5	4,5	9,1	9,2	0
Normalgewicht	66,7	79,4	72,7	81,8	72,9	68,2
Übergewicht	4,8	11,1	22,7	9,1	17,9	31,8
Chi-Quadrat-Test	p < 0,05			n. s.		
Fettfreie Masse [kg]	37,8 ± 10,0	41,8 ± 10,2	44,6 ± 11,7	36,5 ± 7,9	37,4 ± 7,3	39,4 ± 4,9
Fettmasse [kg]	8,4 ± 5,1	9,8 ± 5,4	11,3 ± 6,4	12,7 ± 6,4	13,8 ± 9,2	15,3 ± 5,7
Fettfreie Masse [%]	82,6 ± 6,1	81,5 ± 7,1	80,4 ± 6,7	75,5 ± 7,4	75,0 ± 8,1	72,9 ± 6,8

	Schüler			Schülerinnen		
	Niedriger SI (Risikogruppe) (n = 21)	Mittlerer SI (n = 189)	Hoher SI (n = 22)	Niedriger SI (Risikogruppe) (n = 22)	Mittlerer SI (n = 206)	Hoher SI (n = 22)
Pubertät						
Pubertätsstatus (PDS)	2,1 ± 0,7	2,4 ± 0,7	2,5 ± 0,8	2,8 ± 0,9	2,7 ± 0,8	2,8 ± 0,8
Gesundheitsstatus						
Rauchstatus [%]						
Nichtraucher	100	94,2	90,9	95,5	90,3	91,9
Raucher	0	5,8	9,1	4,5	9,7	9,1
Chi-Quadrat-Test	n. s.			n. s.		
Frakturen [%]	28,6	27,3	22,7	18,2	22,7	22,7
Chi-Quadrat-Test	n. s.			n. s.		
Vitamin D-Einnahme im ersten Lebensjahr [%]						
Regelmäßig	50,0	62,5	33,3	86,7	61,2	66,7
Oft	16,7	14,8	8,3	0	10,4	6,6
Selten	5,6	4,7	41,7	6,6	5,3	6,7
nie	27,8	18,0	16,7	6,7	23,1	20,0
Chi-Quadrat-Test	p < 0,01			n. s.		

* = p < 0,05 (H-Test nach Kruskal-Wallis)

Hinsichtlich des Lebensmittelverzehrs kann nur bei den Schülerinnen ein signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Gruppen gefunden werden: Schülerinnen mit einer niedrigen Knochenmasse verzehren signifikant mehr Limonade als Schülerinnen mit einer hohen Knochenmasse. Zudem ist bei diesen Schülerinnen der Brotkonsum tendenziell niedriger und der Süßigkeitenverzehr tendenziell höher.

Die Schüler mit einer niedrigen Knochenmasse verzehren tendenziell weniger Milch und Milchprodukte, weniger Fisch, mehr Süßigkeiten, mehr Knabberartikel und mehr Limonade im Vergleich zu Schülern mit einer hohen Knochenmasse (Vgl. Tabelle 4-48 S. 141).

Die Schüler und Schülerinnen, die einen riskanten Steifigkeitsindex aufweisen, sind tendenziell weniger körperlich aktiv als die mit einem höheren Steifigkeitsindex. Dies lässt sich am niedrigen PAL-Wert erkennen, auch wenn die Werte sich nicht signifikant voneinander unterscheiden. Es ist tendenziell zu erkennen, dass die Schüler und Schülerinnen mit einer niedrigen im Vergleich zu denjenigen mit einer hohen Knochenmasse insgesamt weniger Zeit pro Tag im Freien verbringen (Vgl. Tabelle 4-49 S. 142).

Tabelle 4-48: Vergleich zwischen Schülern bzw. Schülerinnen mit einem niedrigen, mittleren und hohen Steifigkeitsindex hinsichtlich des Lebensmittelverzehrs und des BHEI

Lebensmittelgruppe [g/d bzw. mL/d] und BHEI	Schüler			Schülerinnen		
	Niedriger SI (Risikogruppe) (n = 21)	Mittlerer SI (n = 189)	Hoher SI (n = 22)	Niedriger SI (Risikogruppe) (n = 22)	Mittlerer SI (n = 206)	Hoher SI (22)
Milch und Milchprodukte	369 ± 366	367 ± 389	521 ± 648	357 ± 414	336 ± 369	315 ± 431
Brot	196 ± 216	167 ± 181	173 ± 223	104 ± 104	114 ± 131	134 ± 193
Fleisch- und Wurstwaren	143 ± 140	165 ± 206	197 ± 177	70 ± 56	77 ± 110	61 ± 59
Fisch	12 ± 26	16 ± 29	30 ± 95	7 ± 12	7 ± 12	12 ± 27
Obst und Gemüse	450 ± 713	369 ± 478	488 ± 630	478 ± 382	478 ± 709	372 ± 354
Süßigkeiten	93 ± 211	66 ± 151	46 ± 57	47 ± 65	57 ± 121	23 ± 26
Knabberartikel	65 ± 170	54 ± 148	16 ± 21	18 ± 32	28 ± 87	16 ± 27
Limonade	654 ± 971	550 ± 855	594 ± 801	240 ± 332	384 ± 745	118 ± 318 *
Kaffee, schwarzer und grüner Tee	86 ± 243	100 ± 347	143 ± 293	81 ± 177	103 ± 297	158 ± 573
BHEI	56 ± 14	57 ± 16	51 ± 19	59 ± 13	59 ± 13	61 ± 15

* = p < 0,05 (H-Test nach Kruskal-Wallis)

Tabelle 4-49: Vergleich zwischen Schülern bzw. Schülerinnen mit einem niedrigen, mittleren und hohen Steifigkeitsindex hinsichtlich der körperlichen Aktivität und der Aufenthaltsdauer im Freien

	Schüler			Schülerinnen		
	Niedriger SI (Risikogruppe) (n = 20)	Mittlerer SI (n = 170)	Hoher SI (n = 18) ¹	Niedriger SI (Risikogruppe) (n = 22)	Mittlerer SI (n = 193)	Hoher SI (n = 21) ¹
PAL	1,47 ± 0,09	1,54 ± 0,16	1,55 ± 0,10	1,38 ± 0,03	1,41 ± 0,09	1,43 ± 0,09
Sport gesamt [min/d]	44 ± 26	61 ± 57	57 ± 25	36 ± 20	49 ± 40	43 ± 38
Aufenthaltsdauer im Freien [h/d]	3,9 ± 1,7	3,7 ± 1,8	4,1 ± 2,1	3,5 ± 1,8	3,4 ± 1,7	4,0 ± 2,0

¹ U-Test nach Mann-Whitney n. s.

5 Diskussion

5.1 Schüler und Schülerinnen

Im Folgenden werden die Schüler und Schülerinnen, die an der Studie „Knochengesundheit und Lebensstil von Schwäbisch Gmünder SchülerInnen“ teilgenommen haben und in den Auswertungen berücksichtigt wurden, hinsichtlich des Alters, des Bildungsniveaus, des Migrationshintergrundes, des Rauchverhaltens, der anthropometrischen Daten sowie Daten des Lebensmittelverzehrs und der körperlichen Aktivität mit den Gleichaltrigen der bundesdeutschen Bevölkerung⁷ verglichen (vgl. Kapitel 4.1. S. 93). Dafür werden zum einen repräsentative Daten des Statistischen Bundesamtes (2011)⁸ für die 10- bis 18-jährigen Kinder und Jugendlichen und zum anderen Ergebnisse der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen (KiGGS) (Kurth et al. 2002) sowie das EsKiMo-Modul (Mensink et al. 2007b) herangezogen. Die Ergebnisse der Körperzusammensetzung werden mit den Daten von Plachta-Danielzik et al. (2012) verglichen.

1) Geschlecht und Alter

Das Untersuchungskollektiv der vorliegenden Arbeit setzt sich aus 232 Schülern und 251 Schülerinnen zusammen. Das Geschlechterverhältnis ist in etwa ausgeglichen (48 % Schüler und 52 % Schülerinnen). Diese Verteilung ist nur bedingt mit der Geschlechterverteilung in Deutschland vergleichbar: Hier bilden die Jungen mit 51,3 % den größeren Anteil der 10- bis 18-jährigen Bevölkerung (Statistisches Bundesamt 2011).

Beim Vergleich der Altersverteilung der Schüler und Schülerinnen der vorliegenden Untersuchung (Vgl. Kapitel 4.1 S. 93) mit dem altersentsprechenden Bundesdurchschnitt fällt auf, dass die Altersklassen der 10- bis 12- und der 13- bis 14-Jährigen mit 75 % der Teilnehmenden überproportional stark im Untersuchungskollektiv vertreten sind. Die Gruppe der 15- bis 18-jährigen Schüler und Schülerinnen ist im Vergleich zum Bundesdurchschnitt unterrepräsentiert (Statistisches Bundesamt 2011) (Vgl. Tabelle 5-1 S. 144). Somit handelt es sich um ein relativ junges Kollektiv von Kindern und Jugendlichen.

⁷ Zur Vereinfachung wird dabei auch der Begriff des altersentsprechenden Bundesdurchschnitts verwendet.

⁸ Es wird die Publikation vom Statistischen Bundesamt aus dem Jahr 2011 (Stand 2009) für den Vergleich herangezogen, da ab 2012 weniger detaillierte Angaben zur Altersverteilung, Bildungsstand und Migration gemacht werden.

Dies ist zum Teil auf die Vorgehensweise bei der Rekrutierung zurückzuführen: Da die Untersuchungen meist zum Ende des Schuljahres stattfanden, war es aufgrund von Prüfungsvorbereitungen und Abschlussprüfungen nicht möglich, an die älteren Schüler und Schülerinnen heranzutreten und für die Teilnahme an der vorliegenden Untersuchung zu werben. Zudem endet der Besuch einer Hauptschule nach der 9. Klasse. Zu diesem Zeitpunkt sind die Schüler und Schülerinnen im Mittel 16 Jahre alt.

Tabelle 5-1: Altersverteilung der 10- bis unter 18-jährigen Bevölkerung in Deutschland

Alter	Jungen		Mädchen	
	Absolut ¹	%	Absolut ¹	%
10-12 J	1223	37,1	1160	37,1
13-14 J	812	24,6	771	24,6
15-18 J	1262	38,3	1198	38,3

¹ in Tausend
(Quelle: Statistisches Bundesamt 2011, Stand 31.12.2009)

2) Bildungshintergrund

Beim Vergleich der Schulbildung der Eltern von den teilgenommenen Schülern und Schülerinnen mit dem Bundesdurchschnitt treten einige Abweichungen hervor (Vgl. Kapitel 4.1.2 S. 95): Der Anteil der Eltern mit einem Volksschul- oder Hauptschulabschluss ist wesentlich kleiner als der Anteil der deutschen Bevölkerung insgesamt. Dahingegen ist der Anteil der Eltern mit einem Realschul- oder gleichwertigen Schulabschluss im Vergleich zum Bundesdurchschnitt größer. Der Anteil der Eltern mit Fachhoch- oder Hochschulreife ist in etwa vergleichbar mit den Anteilen der Männer und Frauen in Deutschland (Vgl. Tabelle 5-2 S. 145) (Statistisches Bundesamt 2011).

Der höhere Bildungsstand der Eltern in der vorliegenden Untersuchung ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass Personen mit einer höheren Schulbildung eher bereit sind, „gesundheitsbezogene“ Studien zu unterstützen als solche mit einem niedrigen Bildungsniveau.

Tabelle 5-2: Bevölkerung nach allgemeinem Schulabschluss

	Männer		Frauen	
	Absolut ¹	%	Absolut ¹	%
Kein Schulabschluss	1368	4,1	1558	4,5
Volksschul- oder Hauptschulabschluss	12716	38,5	13548	38,8
Realschul- oder gleichwertiger Schulabschluss	9230	27,9	11216	32,1
Fachhoch- oder Hochschulreife	9756	29,5	8572	24,6

¹ in Tausend

Die Daten zur Schulbildung der deutschen Bevölkerung basieren auf dem Mikrozensus, bei dem 15- bis über 65-Jährige befragt wurden.

(Quelle: Statistisches Bundesamt 2011, Stand 2010)

3) Migrationshintergrund

In der vorliegenden Untersuchung weisen knapp 16,5 % der Schüler und Schülerinnen einen Migrationshintergrund auf (Vgl. Kapitel 4.1.2. S. 95). Die Anteile der Schüler und Schülerinnen, die über einen beidseitigen Migrationshintergrund verfügen, sind mit dem altersentsprechenden Bundesdurchschnitt nur bedingt vergleichbar: 27,5 % der 10- bis 20-jährigen Kinder und Jugendlichen verfügen über einen Migrationshintergrund im weiteren Sinne. Allerdings werden hier auch Personen mit einem einseitigen Migrationshintergrund dazugezählt (Statistisches Bundesamt 2011), was den höheren Anteil erklären könnte. Zudem differieren die Erhebungsinstrumente zur Bestimmung des Migrationsstatus.

In der KiGGS-Studie verfügten 17,1 % der Kinder und Jugendlichen über einen beidseitigen Migrationshintergrund (Lange et al. 2007).

Möglicherweise können Sprachbarrieren, Vorbehalte und Ängste einer Teilnahme an gesundheitsbezogenen Studien entgegengestanden haben, wie es bei KiGGS der Fall war (Schenk et al. 2007).

4) Rauchen

Bezüglich des Rauchverhaltens fällt auf, dass der Anteil der Raucher und Raucherinnen bei den Schülern und Schülerinnen im Vergleich zum KiGGS-Kollektiv sehr viel niedriger ist (5,6 % vs. 20,5 % der 11- bis 17-jährigen Jungen bzw. 9,2 vs. 20,3 % der gleichaltrigen Mädchen) (Lampert und Thamm 2007).

Der geringe Anteil von Rauchern und Raucherinnen lässt sich wahrscheinlich darauf zurückführen, dass die jüngeren Schüler und Schülerinnen der vorliegenden Untersuchung überrepräsentiert sind. Die KiGGS –Studie lässt erkennen, dass die Prävalenz mit dem Alter steigt: Bei den 11- bis 12-Jährigen liegt sie bei unter 2 % und steigt auf über 40 % bei den 17-Jährigen an (Lampert und Thamm 2007).

5) Ernährung

Der Lebensmittelverzehr der Schüler und Schülerinnen ist für die meisten Lebensmittel (Milch und Milchprodukte, Wurst, Obst und Gemüse, Süßigkeiten sowie Limonaden) in etwa mit dem altersentsprechenden Bundesdurchschnitt vergleichbar (Mensink et al. 2007a). Im Gegensatz zu den KiGGS-Teilnehmern verzehren die Schüler und Schülerinnen häufiger täglich Brot, Fleisch sowie Knabberartikel, demgegenüber jedoch weniger Fisch (Vgl. Kapitel 4.1.4 S. 101).

In der vorliegenden Untersuchung konnten 0,6 % der Fragebögen zur Ernährung nicht in die Analyse einbezogen werden, da entweder über die Hälfte der Angaben gefehlt haben oder bei über der Hälfte der berechneten Verzehrmenen die höchstmöglichen Werte ermittelt wurden. Sie wurden als unplausibel eingestuft. Auch bei KiGGS und EsKiMo mussten Fragebögen zur Ernährung und Ernährungsprotokolle von den Auswertungen ausgeschlossen werden. Bei KiGGS waren das 0,5 % der Fragebögen aufgrund von Unvollständigkeit und unplausibel hoher Verzehrmenen (Mensink et al. 2007a). Bei EsKiMo betraf dies 1,5 % der Ernährungstagebücher und 0,3 % der DISHES-Interviews, da sie nicht den Qualitätsanforderungen entsprachen sowie aufgrund der berechneten Gesamtmengen unplausibel waren (Mensink et al. 2007b).

Vor allem Kindern und Jugendlichen fällt es schwer, übliche Portionsgrößen zu schätzen und sich an ihre Ernährung über einen längeren Zeitraum zu erinnern. Einen Grund für mögliche Fehleinschätzungen beschreiben Livingstone et al. (2004): Kinder, die jünger als 12 Jahre alt sind, haben noch nicht die Fähigkeit Portionsgrößen zu schätzen. Zudem ist das Erinnerungsvermögen noch nicht voll ausgebildet, das Wissen über Lebensmittel ist gering. Dies schränkt ihre Fähigkeit ein, selbst den eigenen Lebensmittelverzehr ohne elterliche Unterstützung zu schätzen. In der vorliegenden Studie trat genau das Gegenteil ein: Die Schüler und Schülerinnen, die ihren Lebensmittelverzehr überschätzen, waren älter als 12 Jahre. Weitere Aspekte, die diskutiert werden, sind die zum Teil sehr variablen Verzehrhäufigkeiten und Portionsgrößen über die Zeit, die unregelmäßige Nahrungsaufnahme und der häufige außer Haus Verzehr, die eine Einschätzung des Ernährungsverhaltens erschweren können (Livingstone et al. 2004).

Um das Ernährungsverhalten zu erfassen, wurde ein Verzehrhäufigkeitsfragebogen (FFQ) eingesetzt, um einen Überblick über den üblichen Verzehr bestimmter Lebensmittel zu erhalten. Dabei werden sowohl die Häufigkeit als auch die Portionsgröße der vorgegebenen Lebensmittel erfragt, die Informationen kombiniert und Verzehrmenen berechnet.

Wie bei anderen Ernährungserhebungsmethoden wie 24-h-Erinnerungsprotokoll, Ernährungsgeschichte oder Verzehrprotokollen gibt es auch beim FFQ sowohl Vor- als auch Nachteile. Der geringe Zeitaufwand und die geringen Kosten zählen zu den Vorteilen des FFQs. Die berechneten Verzehrmenen können als grobe Schätzungen angesehen werden und ermöglichen eine Einteilung in einen niedrigen, mittleren oder hohen Lebensmittelverzehr.

Aufgrund des in dieser Arbeit verwendeten Studiendesigns und der Altersgruppe ist der FFQ das Mittel Wahl. In der vorliegenden Arbeit ist nur eine Auswahl von Lebensmitteln abgefragt worden, deren Inhaltsstoffe wie Calcium, Protein, Vitamin D oder Koffein eine Beeinflussung der Knochenentwicklung im Kindes- und Jugendalter zugeschrieben wird. Als Vorlage für die Fragen zu diesen Lebensmitteln wurde der validierte FFQ „Was ist du?“ von KiGGS herangezogen (Mensink und Burger 2004).

Da aber nicht nur die Aufnahme einzelner Inhaltsstoffe oder der Verzehr bestimmter Lebensmittel, sondern die gesamte Ernährung wichtig zu sein scheint, sollte dieser Fragebogenteil überarbeitet werden und weitere Lebensmittelgruppen abgefragt werden, die einen Überblick über die gesamte Ernährung ermöglichen.

In der vorliegenden Untersuchung hatten die Schüler und Schülerinnen nur eine Schulstunde Zeit, den Fragebogen auszufüllen, da der eigentliche Unterrichtsablauf nicht zu sehr gestört werden sollte. Den FFQ von KiGGS in seinem vollen Umfang einzusetzen, hätte dazu geführt, dass der Fragebogen sehr viel länger geworden wäre und alle für diese Arbeit erforderlichen Aspekte nicht hätten abgefragt werden können (Vgl. Anhang A 5-1 S. 270).

Die vorliegende Studie macht deutlich, dass sich die Schüler und Schülerinnen, die an der vorliegenden Untersuchung teilnahmen, nicht deutlich besser bzw. gesundheitsförderlicher ernähren als Jungen und Mädchen der KiGGS-Studie. Somit kann tendenziell ausgeschlossen werden, dass vor allem Schüler und Schülerinnen mit einem besonderen Interesse an „gesunder“ Ernährung an der Studie zur „Knochengesundheit und Lebensstil von Schwäbisch Gmünder SchülerInnen“ teilgenommen haben.

6) Körperliche (In-)Aktivität

Die körperliche (In-)Aktivität der Schüler und Schülerinnen ist mit den 11- bis 17-jährigen Jungen und Mädchen der KiGGS-Studie in etwa vergleichbar: Die Schüler treiben im Vergleich zu den Jungen knapp eine Stunde weniger Sport in der Woche. Die Schülerinnen hingegen treiben eine Stunde mehr Sport als die Mädchen der KiGGS-Studie (Vgl. Kapitel 4.1.5. S. 105) (Lampert et al. 2007a).

Die Schüler und Schülerinnen verbringen deutlich weniger Zeit bei der Nutzung von elektronischen Medien (Fernsehen/DVD, Computer/Internet, Spielkonsole) als die gleichaltrigen Teilnehmer der KiGGS-Studie. Die 11- bis 17-jährigen Jungen der KiGGS-Studie nutzen diese Medien im Mittel 3,8 Stunden täglich und die gleichaltrigen Mädchen 2,7 Stunden (Lampert et al. 2007b). Die Schüler und Schülerinnen verbringen im Durchschnitt 1,2 Stunden bzw. 0,9 Stunden täglich weniger mit diesen Medien.

Aus den Daten der vorliegenden Arbeit geht hervor, dass einige Schüler und Schülerinnen dazu neigen, ihr Aktivitätsverhalten zu überschätzen. Sie gaben an, mehr als 24 Stunden körperlichen (In-)Aktivitäten nachzugehen. Dies führte dazu, dass 25,4 % der Schüler und 12,0 % der Schülerinnen aus der Analyse ausgeschlossen wurden. Andere Studien beobachten ähnliche Phänomene (McMurray et al. 2004, Wong et al. 2006).

Die Studie von Wong et al. (2006), bei der 67 Schüler und Schülerinnen von der sechsten bis zur zwölften Klasse zu ihrem Aktivitätsverhalten einerseits befragt und andererseits mittels Akzelerometrie zur Überprüfung der Validität des Fragebogens untersucht wurden, bestätigt dies. Auch hier überschätzte der Großteil der Schüler und Schülerinnen (49 von insgesamt 53) ihr Aktivitätsverhalten. Ein möglicher Erklärungsansatz für die Überschätzung könnte sein, dass körperliche Aktivität ein komplexes Verhalten ist und es bisher kein Instrument gibt, um das selbsteingeschätzte Bewegungsverhalten korrekt zu erfassen. Dies kann dazu führen, dass die Selbsteinschätzung nicht das genaue und exakte Verhalten widerspiegelt (Troiano 2007).

Ein weiterer Grund für die Überschätzung könnte auch auf den Fragebogen zurückzuführen sein: Das Antwortformat für die (In-)Aktivitäten wurden in Stunden pro Woche abgefragt. Die Schüler und Schülerinnen müssen die Zeiten über eine Woche hochrechnen und mitteln, dies könnte für einige Schüler und Schülerinnen sehr schwierig gewesen sein.

Vor allem für die Inaktivitäten wie Fernsehen, Computer oder Spielkonsole könnte das Antwortformat in Stunden pro Tag geändert und eine Unterscheidung zwischen Woche und Wochenende gemacht werden. Dies könnte zu einer Vereinfachung für die Schüler und Schülerinnen führen.

Objektivere Daten hätten möglicherweise mit der Akzelerometrie erhoben werden können. Der Einsatz dieser Methode bei allen Schülern und Schülerinnen war zu kostenintensiv und die Kosten dafür nicht im Budget vorhanden.

Aus den Daten der vorliegenden Untersuchung geht hervor, dass die Schüler und Schülerinnen eher zu den körperlich sportlich und aktiveren Personen gehören. Da Schwäbisch Gmünd und die Umgebung eher ländlich geprägt sind, könnten aufgrund der infrastrukturellen Voraussetzungen mehr Spielmöglichkeiten und Bewegungsräume sowie frei zugängliche Sportstätten im Vergleich zu Großstädten vorhanden sein und somit einen positiven Anreiz für die Bewegung geben (Conrad et al. 2013).

7) Anthropometrie und Körperzusammensetzung

Beim Vergleich der Schüler und Schülerinnen in der vorliegenden Untersuchung mit den über 10-jährigen Teilnehmern der KiGGS-Studie hinsichtlich der anthropometrischen Daten kann bei den Schülerinnen eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden Kollektiven festgestellt werden (Vgl. Kapitel 4.1.3. 98). Bei den Schülern fällt auf, dass sie etwas leichter und kleiner als die Jungen der KiGGS-Studie sind (Stolzenberg et al. 2007) (Vgl. Tabelle 5-3).

Tabelle 5-3: Anthropometrische Daten der über 10-jährigen Studienteilnehmer der KiGGS-Studie

	Jungen (n = k. A.)	Mädchen (n = k. A.)
Körpergewicht [kg]	38,3-71,6	38,4-61,8
Körpergröße [cm]	143,9-178,2	144,2-165,2

Angegebene Werte: Mittelwert

(Quelle: Stolzenberg et al. 2007)

Die Prävalenz von Übergewicht bei den Kindern und Jugendlichen der KiGGS-Studie beträgt insgesamt 15 %. In der Altersgruppe der 11- bis 17-Jährigen sind knapp 18 % übergewichtig (Kurth und Schaffrath Rosario 2007). Im Vergleich dazu beträgt die Prävalenz von Übergewicht bei den an der Untersuchung teilgenommenen Schülern und Schülerinnen 15 %. Insgesamt sind im Untersuchungskollektiv etwas weniger Schüler und Schülerinnen von Übergewicht betroffen, dafür ist die Prävalenz von Untergewicht etwas höher (Vgl. Tabelle 5-4 S. 150).

Tabelle 5-4: Einteilung des Body Mass Index der 11- bis 17-Jährigen der KiGGS-Studie

Einteilung BMI	Untergewicht [%]	Normalgewicht [%]	Übergewicht [%]
Jungen			
11-13 J	9,5	72,2	18,3
14-17 J	7,2	75,6	17,2
Mädchen			
11-13 J	7,8	73,3	18,9
14-17 J	6,3	76,8	17,0
Gesamt für diese Altersgruppe	7,7	74,5	17,9

(Quelle: Kurth und Schaffrath Rosario 2007)

Erste repräsentative Daten zur Körperzusammensetzung von deutschen Kindern und Jugendlichen sind von Plachta-Danielzik et al. (2012) veröffentlicht worden. Dafür wurden Daten von 27.024 Kindern und Jugendlichen im Alter von 2 bis 18 Jahren gepooled und Körperfett-Perzentile ermittelt. Hervorzuheben ist, dass bei den berücksichtigten Studien (3 deutsche Kohorten) das gleiche BIA-Gerät eingesetzt wurde, vergleichbare Studienkonditionen herrschten und ein populationsspezifischer Algorithmus, der auch in der vorliegenden Untersuchung verwendet wurde, genutzt wurde. Die prozentualen Fettmassen der Schüler und Schülerinnen stimmen gut mit den Werten zur Fettmasse überein, die von Plachta-Danielzik et al. (2012) ermittelt wurden.

8) Pubertät

Werden die Schüler und Schülerinnen hinsichtlich des Pubertätsstatus mit dem KiGGS-Kollektiv verglichen, wird deutlich, dass die Schülerinnen und Mädchen der KiGGS-Studie die verschiedenen Stadien früher erreichen als die Schüler und Jungen der KiGGS-Studie. Es fällt auf, dass das mittlere Alter beim Erreichen der verschiedenen Stufen nur bedingt übereinstimmt. Die Schüler und Schülerinnen erreichen im Vergleich zu den Jungen und Mädchen des KiGGS-Kollektivs die verschiedenen Pubertätsstufen etwas später (Vgl. Kapitel 4.1.6 S. 107).

In KiGGS wurde der Pubertätsstatus mit Zeichenvorlagen der einzelnen Stufen der Schambehaarung mit einer Beschreibung nach Tanner bestimmt (Kahl et al. 2007a). In der vorliegenden Untersuchung ist ein Fragebogen zum Einsatz gekommen. Dies könnte die Abweichungen erklären.

Trotz allem stimmt das Alter bei Menarche und Mutation bei den beiden Gruppen gut überein (Vgl. Tabelle 5-5). Hinsichtlich des Pubertätsstatus sind die Schüler und Schülerinnen in etwa vergleichbar mit dem altersentsprechenden Bundesdurchschnitt (Kahl et al. 2007a).

Tabelle 5-5: Mittleres Alter in Jahren für die Stufen der Schambehaarung, die Menarche und die Mutation des KiGGS-Kollektivs

		Reifemerkmale					
		PH2	PH3	PH4	PH5	Mutation/Menarche	
Alter [J]	Ju	10,9 (10,8-11,1)	12,6 (12,6-12,7)	13,4 (13,3-13,5)	14,1	Stufe 1:	13,5 (13,4-13,6)
						Stufe 2:	15,1 (15,0-15,2)
	M	10,8 (10,6-10,9)	11,7 (11,6-11,8)	12,3 (12,2-12,3)	13,4	12,8 (12,8-12,9)	

Angegebene Werte: MW (95 % Konfidenzintervall)

PH = Pubesbehaarung; Menarche = 1. Regelblutung; Mutation = Stimmbruch (Stufe 1 = Stimme schwankt; Stufe 2 = Stimme tief)

(Quelle: Kahl et al. 2007a)

9) Aufenthaltsdauer im Freien

Die Schüler und Schülerinnen verbringen im Mittel 3,8 bzw. 3,5 Stunden täglich Zeit im Freien.

Die Aufenthaltsdauer im Freien ist ein wichtiger Faktor, um Aussagen über die Sonnenlichtexposition auf die Haut und deren Effekte wie den Vitamin D-Status oder die Gesundheit der Haut treffen zu können (Diffey 2011).

Generell war es schwierig für die Schüler und Schülerinnen einzuschätzen, wie viel Zeit sie täglich im Freien verbringen, denn viele haben diese Zeit überschätzt. Conrad et al. (2013) zeigten in ihrer Studie, dass Kinder in den Altersgruppen 9 bis 11 sowie 12 bis 14 Jahre im Mittel 3 Stunden und 37 Minuten bzw. 3 Stunden und 23 Minuten täglich Zeit im Freien verbringen. Auch hier wurde der Ansatz gewählt, sowohl nach Wochentag und Wochenende als auch nach Sommer und Winter zu differenzieren, wie es in der vorliegenden Untersuchung der Fall war. Die Ergebnisse von Conrad et al. (2013) und die der vorliegenden Studie hinsichtlich der Aufenthaltsdauer im Freien stimmen gut überein, allerdings wurde bei Conrad et al. (2013) ein Maximal-Wert von 7 Stunden und 4 Minuten ermittelt. In der vorliegenden Arbeit lag der Maximal-Wert 2 Stunden 46 darüber.

Es wird angenommen, dass „Recall-Studien“ die Aufenthaltsdauer im Freien tendenziell überschätzen im Vergleich zu Studien, bei denen Tagebücher oder Dosimeter (Geräte, die die Sonnenlichtexposition messen) eingesetzt werden (Diffey 2011).

10) Lebensstil nach soziodemographischen Merkmalen

Schüler und Schülerinnen mit einem Migrationshintergrund oder einem niedrigen Bildungshintergrund weisen im Gegensatz zu den Schülern und Schülerinnen ohne Migrationshintergrund oder mit höherem Bildungshintergrund einen ungünstigeren Lebensstil auf. Dies findet sich bei der KiGGS-Studie ebenfalls wieder (Vgl. Kapitel 2.3.2 S. 53)

Abschließend kann bei der Beschreibung der Schüler und Schülerinnen, die an der vorliegenden Studie „Knochengesundheit und Lebensstil von Gmünder SchülerInnen“ teilgenommen haben, festgehalten werden, dass es sich, im Vergleich zum altersentsprechenden Bundesdurchschnitt, um ein relativ junges, ein höheren Bildungshintergrund aufweisendes sowie ein eher gesundheitsbewusstes Kollektiv von Kindern und Jugendlichen handelt. Das Ernährungs- und Bewegungsverhalten entspricht in etwa dem des altersentsprechenden Bundesdurchschnitts.

5.2 Methodendiskussion

5.2.1 Begründung der Auswahl einer geeigneten Formel zur Berechnung der Körperzusammensetzung

Die verwendeten Formeln werden hinsichtlich ihrer Parameter beschrieben und miteinander verglichen. Zudem werden die Untersuchungskollektive, an denen die Formeln entwickelt wurden, vorgestellt und mit den Studienteilnehmern der vorliegenden Untersuchung verglichen, die Ergebnisse diskutiert und beurteilt. Im Anschluss daran erfolgt die Auswahl einer Formel, mit der die fettfreie Masse in der vorliegenden Arbeit berechnet werden soll.

Die integrierte Formel im computergestützten Programm des Messgeräteherstellers, das in der vorliegenden Untersuchung verwendet wurde, wird bei der Diskussion zur Auswahl einer Formel zur Berechnung der fettfreien Masse nicht berücksichtigt, da die Ermittlungsgrundlage sowie der Aufbau der Formel unbekannt sind.

Beim Vergleich der eingesetzten Formeln fällt auf, dass alle Formeln hinsichtlich der berechneten fettfreien Masse miteinander hoch korrelieren ($r = 0,847-0,999$). Trotzdem ergeben sich mit Blick auf die berechneten FFM erhebliche Unterschiede, bei den Jungen im Mittel 6 kg und bei den Mädchen 7 kg. Darüber hinaus fällt auf, dass die Formel von Schaefer et al. (1994) die niedrigsten Korrelationen im Vergleich zu allen anderen Formeln aufweist.

Sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen werden die niedrigsten mittleren FFM mittels der Formel von Schaefer et al. (1994) bestimmt. Die FFM scheint bei beiden Geschlechtern unterschätzt zu werden.

Alle Formeln mit Ausnahme der Formeln von Deurenberg et al. (1990) und Deurenberg et al. (1991, Formel 2) berechnen bei den Jungen vereinzelt extrem hohe Werte für die fettfreie Masse, die biologisch nicht plausibel sein können. Das bedeutet, dass Werte von mehr als 95 % FFM berechnet wurden. Bei 0,4 bis 15,5 % der Probanden und Probandinnen wurde eine FFM größer als 95 % ermittelt, bei Horlick et al. (2002) betrifft das 15,5 % der Jungen. Diese Formel überschätzt somit die FFM bei den Jungen. Bei 0,4 bis 3,0 % der Jungen wird sogar eine prozentuale FFM größer als 100 % berechnet. Bei den Mädchen wird nur mit der Formel von Plachta-Danielzik et al. (2012) bei 0,4 % der Mädchen eine prozentuale FFM größer gleich 95 % ermittelt. Es werden keine Werte berechnet, die über 100 % FFM liegen.

Zu beachten ist, dass die biologisch unplausiblen Werte überwiegend bei Jungen und Mädchen ermittelt wurden, die stark untergewichtig sind. Eine Ausnahme bildet die Formel von Horlick et al. (2002): Die biologisch unplausiblen Werte treten überwiegend bei normalgewichtigen Jungen auf. Horlick et al. (2002) haben eine bestehende Formel auf der Grundlage von Goran et al. (1993) weiterentwickelt, die ursprünglich an einer kleinen Gruppe von vier- bis sechs-jährigen Jungen und Mädchen entwickelt wurde.

In Tabelle 5-6 (S. 155) sind die Validierungsstudien, deren Formeln in der vorliegenden Untersuchung zur Berechnung der FFM eingesetzt werden, hinsichtlich des Kollektivs und der Referenzmethode genauer beschrieben.

Tabelle 5-6: Beschreibung der Validierungsstudien zur Bestimmung der fettfreien Masse anhand der BIA

Studie	Anzahl (Ju/M)	Alter [Jahre]	Validierungsmethode	BIA-Gerät	Variablen der Formel	R ²	SE [kg]
Deurenberg et al. (1990)	71/20	Ju: 10-15 M: 10-12	Hydrodensitometrie	RJL Systems model BIA 101 (Detroit, MI, USA)	KH ² /RE, KG, KH [#]	0,98	1,87
	75/41	J: ≥ 16 M: ≥ 13			KH ² /RE, KG, KH [#] , A, S	0,97	2,55
	130/116	7-25			KH ² /RE, KG, KH [#] , S	0,99	2,39
Deurenberg et al. (1991)	361/466, 166	7-83, ≤ 15	Hydrodensitometrie	RJL Systems model BIA 101 (Detroit, MI, USA)	KH ² /RE, KG, KH [#] , S	0,97	1,68
	661	≥ 16			KH ² /RE, KG, KH [#] , A, S	0,93	2,63
Horlick et al. (2002)	640/597	4-18	DXA	RJL Systems model BIA 101 A (Detroit, MI, USA)	KH ² /RE, KG, A, S	0,997	5,8
Plachta-Danielzik et al. (2012)	70/88	5-18	Air-Displacement-Pletysmographie (ADP)	BIA 2000-C (Data Input, Deutschland)	KH ² /RE, KG, Xc, A	0,95	2,97
Schaefer et al. (1994)	59/53	3,9-19,3	⁴⁰ K-Ganzkörperzählung, Hautfaltendicke-messung	Body-composition analyser (Holtain Ltd)	KH ² /RE, A	0,975	1,98
Suprasongsin et al. (1995)	28/28	8-26	Isotopenverdünnung	RJL Systems (Detroit, MI, USA)	KH ² /RE, KG	0,96	2,8

A = Alter [Jahre], KG = Körpergewicht [kg], KH = Körperhöhe [cm], [#] = Körperhöhe [m], RE = Resistanz, S = Geschlecht [1 = Jungen, 0 = Mädchen]

(Quelle: eigene Darstellung)

In allen Validierungsstudien werden multivariate Regressionsanalysen durchgeführt, um mittels der Referenzmethode die geeignete Gleichung zur Berechnung der FFM zu ermitteln. Da der Quotient KH^2/RE die theoretische Grundlage zur Bestimmung der Körperzusammensetzung mit der BIA darstellt, sollte in der Gleichung, die in der vorliegenden Arbeit ausgewählt wird, diese Variable enthalten sein. In alle Gleichungen geht der Quotient KH^2/RE zur Berechnung der FFM als erstes ein und beschreibt dieses Kompartiment am genauesten. In allen Validierungsstudien wurde eine größere Genauigkeit der FFM erzielt, wenn noch weitere Variablen einbezogen wurden. Da der menschliche Körper keinen homogenen Leiter mit einheitlichen geometrischen Merkmalen darstellt, wird die Einbeziehung anthropometrischer Variablen wie das Körpergewicht sowie das Alter der biologischen Komplexität des Körpers und den interindividuellen Unterschieden beispielsweise im Körperbau eher gerecht und ermöglicht die genauere Ermittlung von Ergebnissen. Bei der Auswahl einer geeigneten Formel sollte dieser Aspekt ebenfalls berücksichtigt werden. Mit Ausnahme der Formel von Schaefer et al. (1994) geht das Körpergewicht in die Formeln mit ein. Das Alter wird nur in den Formeln von Horlick et al. (2002), Plachta-Danielzik et al. (2012), Schaefer et al. (1994) und zum Teil in den Formeln von Deurenberg et al. (1990) sowie Deurenberg et al. (1991) berücksichtigt.

Ein Kriterium für die Auswahl einer geeigneten Formel zur Bestimmung der FFM stellen demnach das Alter und die anthropometrischen Merkmale der Studienteilnehmer aus den Validierungskollektiven dar. Sie sollen möglichst gut mit dem Alter und den anthropometrischen Daten des vorliegenden Untersuchungskollektivs übereinstimmen (Vgl. Tabelle 5-7 S. 157). Bei allen Studien ist die Altersgruppe der 10- bis 18-jährigen Jungen und Mädchen im Validierungskollektiv vertreten.

Beim Vergleich der Angaben zu Körpergewicht und Körpergröße aus Tabelle 5-7 mit den entsprechenden Daten des vorliegenden Untersuchungskollektivs stimmen die Validierungskollektive von Deurenberg et al. (1990) am besten überein. Das Kollektiv von Schaefer et al. (1994) unterscheidet sich dagegen bezüglich der anthropometrischen Daten deutlich von den Studienteilnehmern in der vorliegenden Untersuchung, insbesondere im Körpergewicht, aber auch hinsichtlich der Körpergröße. Im Mittel sind die Probanden dieses Validierungskollektivs leichter und kleiner. Bei der Studie von Horlick et al. (2002) werden gar keine Angaben zu den Parametern ihres Validierungskollektivs gemacht.

Tabelle 5-7: Mittleres Alter und Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer aus den Validierungskollektiven zur Bestimmung der fettfreien Masse mittels der BIA

Studie	Geschlecht	Alter [J]	Körpergewicht [kg]	Körpergröße [cm]	BMI [kg/m ²]
Deurenberg et al. (1990)	Ju	12,8 ± 1,5-21,6 ± 2,8	47,2 ± 11,8-73,1 ± 5,9	159 ± 1,2-183 ± 6,3	k. A.
	M	10,7 ± 1,0-17,6 ± 3,6	35,0 ± 6,5-57,9 ± 9,5	144 ± 7,7-168 ± 6,7	
Deurenberg et al. (1991)	Ju & M	28 ± 17	64,8 ± 17,2	169,6 ± 14,3	22,2 ± 4,2
Horlick et al. (2002)	Ju & M	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Plachta-Danielzik (2011)	Ju & M	10,8 ± 3,1	39,2 (30,8-56,8) [#]	146,7 (138,0-160,5) [#]	17,3 (15,8-21,8) [#]
Schaefer et al. (1994)	Ju & M	11,8 ± 3,7	42,8 ± 16,6	150,2 ± 19,7	k. A.
Suprasongsin et al. (1995)	Ju & M	10,6 ± 0,3-22,0 ± 0,7	39,6 ± 2,7-67,3 ± 3,6	142,1 ± 2,3-170,4 ± 3,1	19,3 ± 0,8-23,1 ± 0,5

[#] = Median (25.-75. Perzentil)

(Quelle: eigene Darstellung)

In Anlehnung an Baumgartner et al. (1990) sollte bei der Entscheidung für eine Formel zudem berücksichtigt werden, unter welchen Messbedingungen im Hinblick auf den Gerätetyp und die Elektrodenplatzierung die Validierungsstudie durchgeführt wurde, da dies die Ergebnisse der BIA maßgeblich beeinflusst (Baumgartner et al. 1990, Zarowitz und Pilla 1989). Mit Ausnahme der Studien von Deurenberg et al. (1990) sowie Deurenberg et al. (1991) werden die Elektroden an der rechten Körperseite platziert. Werden die Elektroden an der linken Körperseite platziert, liegen die gemessenen Resistanzwerte im Mittel um etwa 7-18 Ω höher (Deurenberg et al. 1991, Lukaski et al. 1985).

Hinsichtlich des Gerätetyps verwenden nur Plachta-Danielzik et al. (2012) denselben Gerätetyp wie in der vorliegenden Untersuchung.

Im Hinblick auf die beschriebenen und diskutierten Auswahlkriterien wird für die Berechnung der fettfreien Masse die Formel von Plachta-Danielzik et al. (2012) ausgewählt. Obwohl bei 1,0 % der Probanden eine FFM größer als 94 % errechnet wurde, entspricht die Formel den gestellten Anforderungen.

Der Quotient KH^2/RE sowie weitere Variablen wie das Körpergewicht und das Alter gehen in die Formel mit ein. Zudem ist die Formel anhand der Densitometrie an deutschen Jungen und Mädchen validiert und in einer Gruppe von 79 Kindern zwischen vier und achtzehn Jahren cross-validiert worden.

Das Validierungskollektiv stimmt weitestgehend mit den anthropometrischen Daten des Untersuchungskollektivs überein und ist ausreichend groß. Zudem wird derselbe Gerätetyp wie in der vorliegenden Arbeit verwendet.

Ein weiterer Grund für die Verwendung dieser Formel zur Berechnung der FFM, ist der Umstand, dass sowohl das Validierungskollektiv als auch das Untersuchungskollektiv nicht nüchtern untersucht wurden. Zudem kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Kinder und Jugendlichen der vorliegenden Untersuchung zuvor körperlich aktiv waren, da die Messungen an Schultagen durchgeführt wurden. Dies kann die Messergebnisse beeinflussen.

5.2.2 Reproduzierbarkeit des Fragebogens

Die Bestimmung der Reproduzierbarkeit eines Fragebogens zählt zu einem wichtigen Gütekriterium, das die Zuverlässigkeit der Untersuchungsergebnisse widerspiegelt. Um zuverlässige Aussagen treffen zu können, sollen Ergebnisse nicht nur valide, sondern auch reproduzierbar sein. Somit kann die Reproduzierbarkeit von Fragebögen, die zu zwei Zeitpunkten von denselben Personen ausgefüllt wurden, erste wichtige Hinweise auf die Antwortstabilität eines Fragebogens geben (Cade et al. 2002, Willett 1998 S. 1005).

Zu beachten ist, dass der Zeitraum zwischen zwei Erhebungszeitpunkten ausreichend groß sein sollte. Probanden sollen sich einerseits nicht an die vorherigen Antworten erinnern können, ihr Verhalten andererseits aber nicht ändern. Dennoch kann nicht eindeutig unterschieden werden, ob es sich bei Abweichungen um Reportingfehler oder die Variabilität der Ernährung (Willett 1998 S. 110) bzw. der körperlichen Aktivität handelt. Es existiert bisher keine Definition einer guten oder schlechten Reproduzierbarkeit (Lanfer et al. 2011).

5.2.2.1 Lebensmittelverzehr

Die Schüler und Schülerinnen gaben während der zweiten Befragung niedrigere Verzehrsmengen für unterschiedliche Lebensmittel an. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit anderen Studien, bei denen gezeigt wurde, dass die Verzehrsmengen für einige Lebensmittel und auch die Energiezufuhr bei der zweiten Befragung meist niedriger im Vergleich zur ersten Befragung sind (Buzzard et al. 2001, Metcalf et al. 2003, Rockett et al. 1995, Watson et al. 2009).

Die Reproduzierbarkeit von Verzehrhäufigkeitsfragebögen ist unter Beachtung verschiedener Bedingungen untersucht worden. So reichen die Korrelationen bezogen auf die Nährstoffaufnahme zwischen zwei Erhebungen von 0,5 bis 0,7 während eines Zeitraums von einem bis zehn Jahren (Willett 1998 S. 105).

In einigen wenigen Studien wurde die Reproduzierbarkeit von speziellen Lebensmitteln untersucht. Die Korrelationskoeffizienten sind deutlich variabler als für die Nährstoffe. Sie reichen von 0,2 bis 0,7. Zu beachten ist allerdings, dass diese Studien mit Erwachsenen durchgeführt wurden (Willett 1998 S. 108f).

Studien zur Reproduzierbarkeit von Verzehrhäufigkeitsfragebögen bei Kindern und Jugendlichen sind noch seltener durchgeführt worden. In einer Studie von Rockett et al. (1995) konnte gezeigt werden, dass die Reproduzierbarkeit für Lebensmittel von 0,39 bis 0,57 reicht. Das Studienkollektiv bestand aus 179 Jugendlichen im Alter von 9 bis 18 Jahren. Die Reproduzierbarkeit eines Verzehrhäufigkeitsfragebogens von Buzzard et al. (2001) für Jugendliche reicht für einzelne Lebensmittel von 0,24 bis 0,59. Die 11- bis 14-jährigen Schüler und Schülerinnen füllten die Fragebögen in der Klasse aus.

Zu einem vergleichbaren Ergebnis kommen Matthys et al. (2007). Die Reproduzierbarkeit eines web-basierten Verzehrhäufigkeitsfragebogens, den 66 belgische Schüler und Schülerinnen im Alter von 12 bis 18 Jahren ausfüllten, betrug im Mittel für alle erfragten Lebensmittel 0,62.

Lanfer et al. (2011) konnten bei 2 bis 10 Jahre alten Kindern zeigen, dass die Korrelationskoeffizienten für bestimmte Lebensmittel von 0,32 bis 0,76 reichen. Hier schätzten Eltern oder mit dem Kind lebende Personen die Verzehrhäufigkeit bestimmter Lebensmittel ihres Kindes einer typischen Woche ein.

In anderen Studien wurden sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern Geschlechtsunterschiede beschrieben, im Allgemeinen sind die Ergebnisse nicht eindeutig (Andersen et al. 1995, Ibiebele et al. 2009, McPherson et al. 2000, Metcalf et al. 2003, Rockett et al. 1995). Das gleiche Bild ergibt sich hinsichtlich des Alters. Auch hier werden keine konsistenten Ergebnisse in der Literatur beschrieben (Ambrosini et al. 2009, Metcalf et al. 2003, Stevens et al. 1996). Auch in der vorliegenden Arbeit konnten weder Geschlechts- noch Altersunterschiede festgestellt werden.

Diskutiert wird ebenfalls, ob die Verzehrhäufigkeit die Reproduzierbarkeit eines Verzehrhäufigkeitsfragebogens beeinflussen kann. Lebensmittel, die selten oder saisonal verzehrt werden, zeigten bei einigen Studien zur Reproduzierbarkeit geringere Korrelationen auf (Andersen et al. 1995). Diese Beobachtung kann in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden.

Die Ergebnisse der Reproduzierbarkeitsanalyse des Verzehrhäufigkeitsfragebogens für Kinder und Jugendliche für spezielle Lebensmittel in dieser Arbeit sind vergleichbar mit den Ergebnissen aus anderen Studien.

Dies wird durch die Ergebnisse der Studie zur relativen Validität des KiGGS Verzehrhäufigkeitsfragebogens von Jugendlichen in Deutschland gestützt (Truthmann et al. 2011). Die relative Validität des gesamten KiGGS Verzehrhäufigkeitsfragebogens zeigte eine ausreichend bis mäßige Übereinstimmung beim Einordnen der Probanden und Probandinnen hinsichtlich ihres Verzehr für die meisten Lebensmittelgruppen.

5.2.2.2 Körperliche Aktivität

In der Literatur sind viele unterschiedliche Methoden zur Erfassung der körperlichen Aktivität bei Kindern und Jugendlichen beschrieben. Dies erschwert Vergleiche zwischen den Studien (Lubans et al. 2011). Um die Interrater-Reliabilität zu bestimmen, ist die Intra-Klassen-Korrelation (ICC) die bevorzugte Methode; gleiches gilt für den Kappa-Koeffizient (Sallis und Saelens 2000). In einigen Studien werden als Maß für die Reproduzierbarkeit Korrelationskoeffizienten nach Pearson oder Spearman bestimmt, je nachdem, welches Skalenniveau der Variable vorliegt. In der vorliegenden Arbeit wurden Korrelationskoeffizienten nach Spearman ermittelt.

In einer Studie von Aaron et al. (1993) wurde die 1-Jahres-Reproduzierbarkeit eines selbstausgefüllten Fragebogens bei 1175 Schülern und Schülerinnen bestimmt. Der Spearman-Korrelationskoeffizient betrug 0,55. Auch Koo und Rohan (1999) kommen zu einem ähnlichen Ergebnis. Mädchen im Alter von 7 bis 15 Jahren füllten vier verschiedene Fragebögen zur körperlichen Aktivität aus, wobei die Mädchen zum Teil Hilfe von ihren Eltern erhalten haben. Die Spearman-Korrelationskoeffizienten reichten von 0,44 bis 0,59.

Je nachdem, welche Methode zur Bestimmung der Reproduzierbarkeit angewandt wurde, fallen die Korrelationskoeffizienten meist wesentlich höher aus. Der Korrelationskoeffizient der Reproduzierbarkeit (Intra-Klassen-Korrelation bzw. Korrelation nach Pearson) eines Internet-basierten Fragebogens (PAQ-C, *physical activity questionnaire for older children*) betrug bei Storey und McCargar (2012) 0,79. 323 Schüler und Schülerinnen mit einem mittleren Alter von 12,8 Jahren nahmen an der Studie teil. Bei Corder et al. (2009) reichen die Intra-Klassen-Korrelationskoeffizienten von 0,64 bis 0,92.

Bei den meisten Studien lagen zwischen der ersten und zweiten Befragung etwa ein bis zwei Wochen (Lubans et al. 2011, Strugnell et al. 2011 Wong et al. 2006). Dies könnte erklären, warum die Koeffizienten wesentlich höher sind als in der vorliegenden Arbeit, da sich die Schüler und Schülerinnen wahrscheinlich noch an die Antwort erinnerten und das Bewegungsverhalten innerhalb einer Woche nicht stark variiert.

Vor allem Aktivitäten, die institutionalisiert bzw. organisiert sind, erreichen wesentlich höhere Koeffizienten, als Aktivitäten, die eher unbewusst oder in der Freizeit ausgeführt werden (Dwyer et al. 2011, Welk et al. 2007).

In der Literatur sind die Unterschiede hinsichtlich Geschlecht und/oder Alter nicht konsistent. Booth et al. (2002), Crocker et al. (1997) und Rangul et al. (2008) gaben an, dass bei Mädchen meist höhere Koeffizienten erreicht werden. In einer Studie von Liu et al. (2010) können allerdings keine Unterschiede sowohl hinsichtlich Geschlecht als auch Alter gefunden werden. Auch Koo und Rohan (1999) können keine Altersunterschiede feststellen. In der vorliegenden Arbeit konnten ebenfalls keine statistisch signifikanten Alters- und Geschlechtsunterschiede gefunden werden.

5.3 Knochenmasse

5.3.1 Knochenmasse hinsichtlich Alter und Geschlecht

Die Knochenmasse-Parameter, die bei den Schülern und Schülerinnen mittels QUS ermittelt wurden, sind mit denen aus anderen Studien in etwa vergleichbar (Alwis et al. 2010, Hirota et al. 2005, Jaworski et al. 1995, Minematsu et al. 2012, Novotny et al. 2004, Robinson et al. 2007, Sawyer et al. 2001, Sundberg et al. 1998, Truscott 1997, Yesil et al. 2013, Zhu et al. 2007). Bei den Schülern wurden für BUA, SOS sowie SI Werte im Bereich von 99-155 db/MHz, 1551-1630 m/s bzw. 80-140 ermittelt. Es zeigt sich, dass bei den Schülern im Vergleich zu den gleichaltrigen Jungen in den verschiedenen Studien zum Teil wesentlich höhere QUS-Werte ermittelt werden konnten (Vgl. Tabelle 5-8).

Tabelle 5-8: QUS-Parameter des Calcaneus bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Probanden (Anzahl Ju/M)	Messgerät und -ort	Geschlecht		BUA [db/MHz]	SOS [m/s]	SI
Alwis et al. (2010)	1076 (558/518), Schweden, 6-19 J	Lunar Achilles 1061: rechter Calcaneus	Ju		103-129	1536- 1599	80-113
			M		101-121	1538- 1582	80-101
Hirota et al. (2005)	544 (286/262), Japan, 10-15 J	Lunar Achilles A1000: Calcaneus	Ju		k. A.	k. A.	57-115
			M		k. A.	k. A.	55-123
Jaworski et al. (1995)	33, Polen, 10-13 J	Lunar Achilles: rechter Calcaneus	Ju & M		97-104	1531- 1554	73-85
Minematsu et al. (2012)	638 (491/219), Japan, 15-20 J	Lunar Achilles: rechter Calcaneus	Ju	Exc	130	1595	113
				N-Exc	122	1570	101
			M	Exc	114	1578	98
				N-Exc	109	1565	93
Novotny et al. (2004)	323 M, Hawaii, 9-14 J	Lunar Achilles: rechter Calcaneus	M		106	1543	k. A.
Robinson et al. (2007)	114 M, USA 14-18 J	Lunar Achilles Express: rechter Calcaneus	M		k. A.	k. A.	67-142
Sawyer et al. (2001)	263 (85/178), USA, 10-17 J	Achilles+: linker Calcaneus	J		102-125	1534- 1617	78-116
			M		100-126	1532- 1589	75-109

Autor	Probanden (Anzahl Ju/M)	Messgerät und -ort	Geschlecht	BUA [db/MHz]	SOS [m/s]	SI
Sundberg et al. (1998)	280 (148/132) Schweden, 11-16 J	Achilles+: linker und rechter Calcaneus	Ju	105-124	1543- 1586	82-106
			M	107-118	1546- 1585	84-102
Truscott (1997)	28 M England, 15-19 J	Lunar Achilles: k. A.	M	111	1543	k. A.
Yesil et al. (2013)	1617 (811/806), Türkei, 10-14 J	Lunar Achilles: nicht- dominante Ferse	Ju	k. A.	k. A.	84-91
			M	k. A.	k. A.	80-90
Zhu et al. (2007)	726 (360/366) China, 10-18 J	Lunar Achilles: rechter Calcaneus	Ju	95-120	1559- 1601	79-108
			M	97-113	1562- 1592	82-101

Exc = Exercise-Gruppe; N-Exc = Non-Exercise-Gruppe

(Quelle: eigene Darstellung)

Der Unterschied könnte dadurch erklärt werden, dass die Stichprobengröße in den meisten Studien eher klein ist, zum Teil unterschiedliche Messorte (rechter Calcaneus bzw. beide Fersen) und -technik (Wasserbad bzw. „Kontaktmethode“) und verschiedene Geräte desselben Herstellers gewählt sowie unterschiedliche Ethnien untersucht wurden.

Ob Unterschiede bei den QUS-Parametern zwischen dem rechten und dem linken Calcaneus bestehen, wurde im Rahmen einer Studie mit 621 Frauen im Alter von 30 bis 80 Jahren mithilfe des *Sahara Clinical Bone Sonometer* (Hologic, USA) untersucht (Oral et al. 2004). Die Autoren dieser Studie kommen zu dem Ergebnis, dass, obwohl die QUS-Werte des rechten und linken Calcaneus im Mittel gleich sind, sich die Messparameter BUA und SOS zwischen dem rechten und linken Fersenbein in der ersten Gruppe mit 545 Frauen im Alter von 30 bis 80 Jahren und der dritten Gruppe mit 46 Frauen im Alter von 40 bis 75 Jahren bzw. nur SOS in der ersten Gruppe signifikant voneinander unterscheiden. Bei der zweiten Gruppe unterscheiden sich die Messparameter zwischen dem linken und rechten Fuß nicht signifikant voneinander. Zudem existieren zum Teil große inter-individuelle Unterschiede bei der BUA. Die Messwerte für die QUS-Parameter des linken Calcaneus sind im Mittel tendenziell niedriger.

Auch andere Studien konnten dies bei Erwachsenen (QUS mittels SAHARA Clinical Bone Sonometer, CUBA-Densitometer, Lunar Achilles+, Pixi, Lunar Achilles) (Dretakis et al. 1994, Drysdale et al. 2001a, Howard et al. 1997, Kolthoff et al. 1995, Magkos et al. 2005b) sowie bei Kindern und Jugendlichen (QUS mittels SAHARA Clinical Bone Sonometer, CUBA-Densitometer) (Bayer und Kutílek 1997, Magkos et al. 2005b) zeigen.

Es wird empfohlen, entweder beide Fersen (Drysdale et al. 2001a, Drysdale et al. 2001b, Kolthoff et al. 1995, Oral et al. 2004) oder standardisiert den dominanten bzw. nicht-dominanten Fuß (Dretakis et al. 1994, Howard et al. 1997) zu messen. Magkos et al. (2005b) sind der Meinung, dass die Wahl des zu untersuchenden Fußes vom Studienziel abhängig gemacht werden sollte. Sie weisen darauf hin, dass in jeder Studie die gemessene Seite beschrieben werden sollte.

In der vorliegenden Studie wurde überwiegend die linke Ferse gemessen, da bei über 90 % der Personen dies die nicht-dominante Seite ist und auch bei den DXA-Messungen die nicht-dominante Seite z. B. bei der Hüfte ausgewählt wird.

1) QUS-Parameter und Alter

In der vorliegenden Untersuchung konnte gezeigt werden, dass sowohl BUA als auch SOS sowie SI, ermittelt am Calcaneus, signifikant mit dem Alter bei Schülern und Schülerinnen zunehmen.

Verschiedene Studien bei Kindern und Jugendlichen, bei denen die Knochenmasse mittels QUS am Calcaneus ermittelt wurde, kommen zu vergleichbaren Ergebnissen (Alwis et al. 2010, Jaworski et al. 1995, Lum et al. 1999, Sawyer et al. 2001 Sundberg et al. 1998, Yesil et al. 2013, Zhu et al. 2007).

Im Gegensatz dazu konnte in der Studie von Brukx und Waelkens (2003) kein signifikanter Anstieg der QUS-Parameter in acht verschiedenen Altersgruppen gefunden werden. Hier wurde bei 282 Kindern zwischen 7 und 18 Jahren die Knochenmasse am Fersenbein ermittelt.

Einen Anstieg der BUA mit zunehmendem Alter, gemessen am Calcaneus, konnten Lavado-Garcia et al. (2012) bei 4- bis 16-jährigen gesunden Kindern aus Spanien, Lin et al. (2007) bei taiwanesischen Grundschulern und -schülerinnen bis 12 Jahren, Wünsche et al. (2000) bei 6- bis 18-Jährigen aus Jena sowie Mughal et al. (1997) bei 6- bis 15-Jährigen aus England darstellen.

Ein Zuwachs von SOS mit zunehmendem Alter, gemessen am Calcaneus, konnte nicht in allen Studien gezeigt werden (van den Bergh et al. 2000, Wünsche et al. 2000). SOS war bei den 3299 Jungen und Mädchen in der Untersuchung von Wünsche et al. (2000) über die verschiedenen Altersstufen nahezu konstant.

Bei der Untersuchung von van den Bergh et al. (2000) gab es keine signifikante Zunahme von SOS mit dem Alter bei den Jungen, ebenso bei Magkos et al. (2005a).

Wie bei Brukx und Waelkens (2003) wurde in diesen Studien das *Sahara clinical bone densitometer* für die QUS-Messungen eingesetzt. Möglicherweise ist dieses Gerät nicht geeignet, SOS während des Wachstums bei Kindern und Jugendlichen zu messen (Brukx und Waelkens 2003). Eine weitere Erklärung könnte sein, dass SOS generell während des Wachstums nicht großen Veränderungen unterworfen ist. Auch in den Studien, bei denen SOS mit dem Alter ansteigt, sind die Zuwächse von SOS relativ gering. Die Autoren gaben als Erklärung an, dass SOS stark mit der Knochendichte assoziiert sei und dass während des Wachstums in der Kindheit und Jugend die Knochendichte recht stabil sei oder sich nur moderat erhöhe.

Werden andere Messorte wie Phalangen, Tibia, Radius, Patella etc. berücksichtigt, zeigt sich, dass SOS bzw. Ad-SoS mit dem Alter bei Jungen und Mädchen ansteigt (Barkmann et al. 2002, Baroncelli et al. 2006, Fricke et al. 2005, Halaba und Pluskiewicz 1997, Halaba und Pluskiewicz 2004, Klentrou und Ludwa 2011, Lappe et al. 2000, Lavado-Garcia et al. 2012, Pettinato et al. 2006, Ribeiro et al. 2009, Vignolo et al. 2006, Zadik et al. 2003).

Auch Studien, bei denen die Knochenmasse der Kinder und Jugendlichen mittels DXA ermittelt wurde, konnten einen Anstieg des Knochenmineralgehaltes bzw. der Knochenmineraldichte an unterschiedlichen Messorten wie Lendenwirbelsäule, Femur oder gesamter Körper mit zunehmendem Alter im Längsschnitt beobachten (Bachrach et al. 1999, Burrows et al. 2009, Fournier et al. 1997). Dies geht ebenfalls aus Daten von Querschnittsstudien hervor, bei denen die DXA bzw. QCT bei Kindern und Jugendlichen eingesetzt wurde (Matkovic et al. 1994, Mora et al. 1994, Schoenau et al. 2001).

Signifikant positive Korrelationen zwischen dem Alter und den QUS-Parametern wurden in vielen Studien unabhängig davon beschrieben, welcher Messort verwendet wurde (Alwis et al. 2010, Barkmann et al. 2002, Baroncelli et al. 2006, de Carvalho et al. 2011, Dib et al. 2005, Fricke et al. 2005, Halaba und Pluskiewicz 1997, Halaba und Pluskiewicz 2004, Klentrou und Ludwa 2011, Lavado-Garcia et al. 2012, Lin et al. 2007, Lum et al. 1999, Minematsu et al. 2012, Mughal et al. 1996, Mughal et al. 1997, Pettinato et al. 2006, Ribeiro et al. 2009, Sawyer et al. 2001, Sundberg et al. 1998, Uenishi und Nakamura 2010, van den Bergh et al. 2000, Wünsche et al. 2000, Yesil et al. 2013, Zhu et al. 2007).

Bei Lehtonen-Veromaa et al. (2000a) konnten nur bei den Mädchen, die dem puberalen Stadium zugeordnet wurden, positive Assoziationen zwischen dem Alter und BUA bzw. SOS beobachtet werden.

Die Korrelationen reichen von knapp 0,2 bis 0,9 und sind mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung vergleichbar, bei der ebenfalls positive Korrelationen bei den Schülern und Schülerinnen von 0,5 ermittelt wurden.

Im Gegensatz dazu konnte in der Studie von Robinson et al. (2007) kein Zusammenhang zwischen dem SI am Calcaneus und dem Alter bei 114 Mädchen im Alter von 14 bis 18 Jahren gefunden werden. Auch bei Wetter und Economos (2004) können bei den jungen Männern und Frauen keine Zusammenhänge zwischen den QUS-Parametern (BUA, SOS, SI) und dem Alter gefunden werden (Vgl. Tabelle 5-9). Dies könnte möglicherweise dadurch erklärt werden, dass die untersuchten Mädchen, jungen Frauen und Männer bereits etwas älter waren und somit keine großen Veränderungen der Knochenmasse-Parameter mehr beobachtet werden konnten. Bei den Mädchen und jungen Frauen ist das Längenwachstum mit ca. 16 Jahren abgeschlossen. Zudem sind bei beiden Studien die Stichprobengrößen relativ klein, v. a. bei den jungen Männern (n = 76).

Ähnliche Ergebnisse werden bei Novotny et al. (2004) bei 9- bis 14-jährigen Mädchen präsentiert: Sowohl BUA als auch SOS korrelieren nicht mit dem Alter.

Der Effekt des Alters auf die QUS-Parameter stimmt mit den Ergebnissen, die mittels DXA oder QCT ermittelt wurden, überein: Diese zeigen eine Zunahme des Knochenmineralgehaltes bzw. der Knochenmineraldichte mit zunehmendem Alter (Harel et al. 2007, Mora et al. 1994).

Tabelle 5-9: Zusammenhänge zwischen QUS-Parametern und Alter bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Probanden	Messgerät und -ort	Korrelation r	
Alwis et al. (2010)	1076 (558/518), Schweden, 6-19 J	Lunar Achilles 1061: rechter Calcaneus	Ju	BUA:Alter r = 0,71 SOS:Alter r = 0,42 SI:Alter r = 0,67
			M	BUA:Alter r = 0,67 SOS:Alter r = 0,39 SI:Alter r = 0,64
Barkmann et al. (2002)	1328 (678/650), Deutschland 3-17 J	DBMSonic 1200 (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	Ju	AD-Sos:Alter R = 0,80 BTT:Alter R = 0,86
			M	AD-Sos:Alter R = 0,85 BTT:Alter R = 0,89
Baroncelli et al. (2006)	3044 (1513/1531), Italien, 2-21 J	DBMSonic 1200 (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	Ju	AD-SoS:Alter r = 0,85 BTT:Alter r = 0,86
			M	AD-SoS:Alter r = 0,84 BTT:Alter r = 0,86
De Carvalho et al. (2011)	267 (141/126), Brasilien, 8-18 J	DBM Sonic BP (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	Ju	AD-SoS:Alter r = 0,53
			M	AD-SoS:Alter r = 0,77

Autor	Probanden	Messgerät und -ort	Korrelation r		
Dib et al. (2005)	256 (132/124), Libanon 11-18 J	DBMSonic 1200 (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	Ju	AD-SoS:Alter r = 0,58 BTT:Alter r = 0,63	
			M	AD-Sos:Alter r = 0,61 BTT:Alter r = 0,66	
Fricke et al. (2005)	216, kranke Kinder, Jugendliche, Erwachsene, 3-43	QUS device (Minhorst, Germany): Daumen, Calcaneus, Patella	< 18 J	SOS _C :Alter r = 0,85	
Halaba und Pluskiewicz (1997)	443 (207/226), Polen, 9-15 J	DBM Sonic 1200 (IGEA, Capri, Italy): dominante Hand	Ad-SoS:Alter r = 0,58		
Halaba und Pluskiewicz (2004)	1020, Polen, 7-19 J	DBM Sonic 1200 (IGEA, Capri, Italy): Phalangen	Ju	≤ 13 J	Ad-SoS:Alter r = 0,21
				> 13 J	Ad-SoS:Alter r = 0,70
			M	10-15 J	Ad-SoS:Alter r = 0,70
				> 16 J	n. s.
Klentrou und Ludwa (2011)	595 Mädchen, Kanada, 14-23 J	Sunlight Omnisense 7000S: beide Unterschenkel (Tibia, Radius)	SOS _{Radius} :Alter r = 0,53 SOS _{Tibia} :Alter r = 0,45		
Lavado-Garcia et al. (2012)	245 (121/124), Spanien, 4-16 J	DBM Sonic Bone Profiler (IGEA, Capri, Italy): Phalangen	Ju	AD-SoS:Alter r = 0,734	
			M	AD-SoS:Alter r = 0,866	
		CUBA Clinical, McCue Ultrasonic, UK): linker Calcaneus	Ju	BUA:Alter r = 0,674	
			M	BUA:Alter r = 0,723	
Lehtonen-Veromaa et al. (2000a)	184 Mädchen, Finnland, 11-17 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): nicht-dominante Ferse	Prä	n. s.	
			Pub	BUA:Alter r = 0,370 SOS:Alter r = 0,232	
Lin et al. (2007)	(1164/1016), Taiwan 6-13 J	CUBA Clinical device (McCue Ultrasonics, UK): Ferse	Ju	BUA:Alter r = 0,541	
			M	BUA:Alter r = 0,508	
Lum et al. (1999)	125 (56/69), USA 9 -25 J	Ultrasonic bone Analyser (Walker Sonix, Hologic): linker Calcaneus	BUA:Alter r = 0,43 SOS:Alter r = 0,51 Vb:Alter r = 0,42		
Minematsu et al. (2012)	710 (491/219), Japan, 15-20 J	Lunar Achilles: rechter Calcaneus	Ju	Exc	SI:Alter r = 0,304
				N-Exc	SI:Alter r = 0,259
			M	Exc	SI:Alter r = 0,347
				N-Exc	n. s.
Mughal et al. (1996)	58 (27/31) 7-17 J	CUBA (McCue Ultrasonics, UK): linker Calcaneus	BUA:Alter r = 0,249		

Autor	Probanden	Messgerät und -ort	Korrelation r	
Mughal et al. (1997)	367 (174/193), England, 6-15 J	CUBA (McCue Ultrasonics, UK): linker Calcaneus	BUA:Alter r = 0,67	
Novotny et al. (2004)	323 Mädchen, Hawaii 9-14 J	Lunar Achilles: rechter Calcaneus	n. s.	
Pettinato et al. (2006)	151 (71/80), USA, 11-26 J	Omnisense 7000P (Sunlight Medical, Israel): Radius, Tibia	Ju	SOS _{Radius} :Alter r = 0,64 SOS _{Tibia} :Alter r = 0,63
			M	SOS _{Radius} r = 0,53 SOS _{Tibia} r = 0,42
Ribeiro et al. (2009)	1356, Brasilien, 6-11 J	DBM Sonic BP (IGEA, Carpi, Italy): nicht-dominante Hand	AD-SoS:Alter r = 0,32 UBPI:Alter r = 0,13	
Robinson et al. (2007)	114 M, USA, 14-18 J	Lunar Achilles Express: rechter Calcaneus	n. s.	
Sawyer et al. (2001)	283, USA 6-18 J	Lunar Achilles+: linker Calcaneus	BUA:Alter r = 0,455 SOS:Alter r = 0,379 SI:Alter r = 0,496	
Sundberg et al. (1998)	280, Schweden, 11-16 J	Lunar Achilles+: beide Fersen	Ju	BUA:Alter r = 0,54 SOS:Alter r = 0,46 SI:Alter r = 0,52
			M	BUA:Alter r = 0,34 SOS:Alter r = 0,43 SI:Alter r = 0,43
Uenishi und Nakamura (2010)	38719 (14996/23723), Japan, 15-18 J	AOS 100 (Aloka, Tokyo): rechter Calcaneus	Alle	OSI:Alter R ² = 1,1 %
			Ju	OSI:Alter R ² = 3,1 %
			M	OSI:Alter R ² = 0,6 %
van den Bergh et al. (2000)	491 (229/262), Niederlande, 6-21 J	UBIS 3000 (DMS, Frankreich): Calcaneus	Ju	BUA:Alter r = 0,663 SOS:Alter n. s.
			M	BUA:Alter r = 0,75 SOS:Alter r = 0,20
Wetter und Economos (2004)	(76/159), 17-21 J	Lunar Achilles+: nicht-dominanter Fuß	Ju	n. s.
			M	n. s.
Wünsche et al. (2000)	(1676/1623), Deutschland, 6-18 J	Sahara (Hologic, USA): rechte Ferse	Ju	BUA:Alter r = 0,389
			M	BUA:Alter r = 0,578
Yesil et al. (2013)	1617 (811/806), Türkei, 6-14 J	Lunar Achilles: nicht-dominanter Fuß	Ju	SI:Alter r = 0,43
			M	SI:Alter r = 0,35
Zhu et al. (2007)	726 (360/366), China, 10-21 J	Lunar Achilles: rechte Ferse	Ju	BUA:Alter r = 0,440 SOS:Alter r = 0,205 SI:Alter r = 0,369
			M	BUA:Alter r = 0,284 SOS:Alter r = 0,186 SI:Alter r = 0,287

(Quelle: eigene Darstellung)

2) QUS-Parameter und Geschlecht

Bei den Schülern und Schülerinnen konnten hinsichtlich der QUS-Parameter (BUA, SOS und SI) keine Geschlechtsunterschiede gefunden werden. In der Altersgruppe der 13-Jährigen wurden allerdings signifikant höhere Werte für BUA, SOS und SI bei den Mädchen ermittelt.

Sawyer et al. (2001) konnten keine Geschlechtsunterschiede bei den QUS-Parametern am Calcaneus zwischen den 6- bis 20-jährigen Jungen und Mädchen finden. Dieses Ergebnis steht in etwa im Einklang mit den Beobachtungen von Alwis et al. (2010): Es gibt keine Geschlechtsunterschiede bei SOS und SI am Calcaneus. Im Gegensatz dazu konnten für BUA höhere Werte bei den Jungen ab 15 Jahren im Vergleich zu den Mädchen beobachtet werden. Auch bei Lin et al. (2007) werden, bezogen auf die BUA-Werte des Calcaneus, keine Geschlechtsunterschiede beschrieben, allerdings wurden hier 6- bis 13-jährige Kinder untersucht. Ähnliche Ergebnisse haben Cvijetić et al. (2003) gefunden: Bei den 7- bis 10-jährigen Jungen und Mädchen werden keine Unterschiede hinsichtlich der QUS-Parameter an der Ferse gefunden, nur bei den 15- bis 18-jährigen Jungen sind die BUA-Werte signifikant höher als bei den gleichaltrigen Mädchen.

Im Gegensatz dazu werden in der Untersuchung von Wünsche et al. (2000) Geschlechtsunterschiede zwischen Jungen und Mädchen hinsichtlich BUA gefunden: Bei den 9- bis 11-jährigen Mädchen sind die BUA-Werte im Vergleich zu den gleichaltrigen Jungen niedriger, wohingegen die BUA-Werte bei den 13- bis 17-jährigen Mädchen höher sind als bei den Jungen desselben Alters. Bei den SOS-Werten werden höhere Werte bei den 7-jährigen und bei den 13- bis 17-jährigen Mädchen gefunden. Dies ist in etwa vergleichbar mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung.

Auch bei Barkmann et al. (2002) konnten Geschlechtsunterschiede hinsichtlich des QUS-Parameters AD-SoS, gemessen an den Phalangen, gefunden werden: Bei den 11- bis 14-jährigen Mädchen wurden im Vergleich zu den Jungen höhere AD-SoS-Werte beobachtet.

In einer weiteren Studie werden bei 433 gesunden Kindern im Alter von 9 bis 15 Jahren Geschlechtsunterschiede erst bei einem Alter von 11 Jahren erkennbar: Die QUS-Werte, gemessen an den Phalangen, stiegen bei den Mädchen im Alter von 11 Jahren an, bei den Jungen zwei Jahre später (Halaba und Pluskiewicz 1997). Diese Ergebnisse werden von Baroncelli et al. (2006) gestützt: Die Mädchen im Alter zwischen 9 und 14 bzw. zwischen 11 und 13 Jahren wiesen höhere AD-SoS- bzw. BTT-Werte auf als die gleichaltrigen Jungen. Im Einklang mit diesen Ergebnissen zeigt sich bei Lappe et al. (2000), dass die QUS-Werte bei den Mädchen im Alter von 9, 11, 12 und 14 Jahren signifikant höher sind als bei den Jungen derselben Altersgruppe.

In einer Studie von Uenishi und Nakamura (2010) haben die 15- bis 18-jährigen Jungen einen höheren OSI (*osteo sono-assessment index*) als die gleichaltrigen Mädchen. Dafür sind die SOS-Werte bei den 23.723 Mädchen signifikant höher als bei den 14.995 Jungen.

Die Unterschiede bezüglich des Geschlechts in den Studienergebnissen könnten auf die Ethnizität, die Stichprobengröße, die Messmethode sowie das eingesetzte Gerät zurückgeführt werden.

Aus den Vergleichen lässt sich ableiten, dass die Messparameter der Quantitativen Ultrasonometrie am Fersenbein während des Wachstums bei Kindern und Jugendlichen größer werden und zum Teil geschlechtsspezifisch sind. Diese Prozesse können mit dem Achilles Insight-Gerät erfasst und abgebildet werden.

Zudem weisen die Schüler und zum Teil die Schülerinnen eine höhere Knochenmasse auf als die Jungen und Mädchen aus anderen Studien, bei denen ebenfalls die QUS am Fersenbein eingesetzt wurde. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Unterschied aufgrund des Einsatzes verschiedener Geräte unterschiedlicher Hersteller bzw. unterschiedlicher Geräte desselben Herstellers besteht (Alwis et al. 2010, Njeh et al. 2000).

5.3.2 Knochenmasse und Lebensstilfaktoren

Hinsichtlich der Knochenmasse und der verschiedenen Einflussfaktoren werden aktuelle Studien aus der Literatur herangezogen, die diese bei Kindern und Jugendlichen untersucht und die QUS als Bestimmungsmethode angewendet haben, und mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung verglichen.

5.3.2.1 Knochenmasse und Körpergewicht sowie Körperzusammensetzung

1) Knochenmasse und Körpergewicht

In der vorliegenden Arbeit wurden positive Korrelationen zwischen dem Steifigkeitsindex und dem Körpergewicht bei den Schülern und Schülerinnen ermittelt.

Unabhängig davon, welcher Messort (Phalangen, Calcaneus, Daumen, Patella) mittels QUS und welche Ethnizität untersucht wurden, zeigen die meisten Studien positive Zusammenhänge zwischen den verschiedenen QUS-Parametern und dem Körpergewicht bei Kindern und Jugendlichen (Alwis et al. 2010, Babaroutsi et al. 2005a, Baroncelli et al. 2006, Cvijetić et al. 2003, Dib et al. 2005, Fricke et al. 2005, Halaba und Pluskiewicz 1997 Hirota et al. 2005, Lavado-Garcia et al. 2012, Lin et al. 2007, Minematsu et al. 2012, Mughal et al. 1997, Ribeiro et al. 2009, Robinson et al. 2007, Sawyer et al. 2001, Sundberg et al. 1998, Uenishi und Nakamura 2010, Vignolo et al. 2006, Wünsche et al. 2000, Yesil et al. 2013, Zhu et al. 2007) und bestätigen somit die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung. Es konnten Korrelationen zwischen 0,1 und 0,7 ermittelt werden (Vgl. Tabelle 5-10 S. 171).

In einigen Studien wurden keine (Dib et al. 2005, Fricke et al. 2005) oder negative Korrelationen (Babaroutsi et al. 2005b, Micklesfield et al. 2004, Novotny et al. 2004) zwischen SOS und dem Körpergewicht gefunden. Micklesfield et al. (2004) stellen des Weiteren dar, dass BUA bei den Mädchen mit unterschiedlicher ethnischer Herkunft nicht mit dem Körpergewicht assoziiert ist.

Die Unterschiede in diesen Studien zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit könnten möglicherweise dadurch erklärt werden, dass die Stichprobengröße relativ klein ist (Babaroutsi et al. 2005b, Dib et al. 2005, Micklesfield et al. 2004), die Probanden relativ jung sind und unterschiedliche Ethnizitäten aufweisen (Micklesfield et al. 2004, Novotny et al. 2004) sowie gesunde und chronisch kranke Kinder und Erwachsene untersucht wurden (Fricke et al. 2005).

Tabelle 5-10: Zusammenhang zwischen QUS-Parametern und Körpergewicht bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Probanden	Messgerät und -ort	Korrelation r	
Alwis et al. (2010)	1076 (558/518), Schweden, 6-19 J	Lunar Achilles 1061: rechter Calcaneus	Ju	BUA:KG r = 0,71 SOS:KG r = 0,40 SI:KG r = 0,66
			M	BUA:KG r = 0,72 SOS:KG r = 0,32 SI:KG r = 0,62
Baroncelli et al. (2006)	3044 (1513/1531), Italien 2-21 J	DBMSonic 1200 (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	Ju	AD-SoS:KG r = 0,78 BTT:KG r = 0,83
			M	AD-SoS:KG r = 0,77 BTT:KG r = 0,83
Babaroutsi et al. (2005a)	990 Mädchen und Frauen, Griechenland, 10-15; 26-33; 60-75 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): Ferse	Alle	BUA:KG r = 0,271 SOS:KG r = 0,099 QUI:KG r = 0,171
Babaroutsi et al. (2005b)	462 Jungen und Männer, Griechenland, 10-15; 26-33; 60-75 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): beide Fersen	Alle	BUA:KG r = 0,328 SOS:KG n. s. QUI:KG r = 0,131
			10-15 J	SOS:KG r = -0,219
Cvijetić et al. (2003)	501, Kroatien, 7-10 J; 15-18 J	Sahara sonometer (Hologic): nicht-dominanter Fuß	Ju	k. A.
			M	k. A.

Autor	Probanden	Messgerät und -ort	Korrelation r	
Dib et al. (2005)	256 (132/124), Libanon 11-18 J	DBMSonic 1200 (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	Ju	AD-SoS:KG r = 0,31 BTT:KG r = 0,47
			M	AD-SoS:KG n. s. BTT:KG r = 0,35
Fricke et al. (2005)	216, kranke Kinder, Jugendliche, Erwachsene, 3-43 J	QUS device (Minhorst, Germany): Daumen, Calcaneus, Patella	alle	SOS _T :KG r = 0,58 SOS _P :KG r = 0,62
Halaba und Pluskiewicz (1997)	443 (207/226), Polen, 9-15 J	DBM Sonic 1200 (IGEA, Capri, Italy): dominante Hand	Ad-SoS:KG r = 0,43	
Hirota et al. (2005)	226 (112/114), Japan, 10-15 J	Lunar Achilles A1000: Calcaneus	Ju	SI:KG r = 0,26
			M	SI:KG r = 0,34
Lavado-Garcia et al. (2012)	245 (121/124), Spanien, 4-16 J	DBM Sonic Bone Profiler (IGEA, Capri, Italy): Phalangen	Ju	Ad-SoS:KG r = 0,652
			M	Ad-SoS:KG r = 0,688
		CUBA Clinical, McCue Ultrasonic, UK): linker Calcaneus	Ju	BUA:KG r = 0,636
			M	BUA:KG r = 0,683
Lin et al. (2007)	2180 (1164/1016), Taiwan 6-13 J	CUBA Clinical device (McCue Ultrasonics, UK): Ferse	Ju	BUA:KG r = 0,597
			M	BUA:KG r = 0,611
Micklesfield et al. (2004)	198 Mädchen, Südafrika 7,5-11,7 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): linker Calcaneus	alle	BUA:KG n. s. SOS:KG r = -0,30
			Schwarze	n. s.
			„gemischt“	BUA:KG n. s. SOS:KG r = -0,25
			Weißer	BUA:KG n. s. SOS:KG r = -0,60
Minematsu et al. (2012)	710 (491/219), Japan, 15-20 J	Lunar Achilles: rechter Calcaneus	Ju	Exc SI:KG r = 0,235
				N-Exc SI:KG r = 0,163
			M	Exc SI:KG n. s.
				N-Exc SI:KG r = 0,200
Mughal et al. (1996)	58 (27/31) 7-17 J	Pediatric CUBA (McCue Ultrasonics, UK): linker Calcaneus	BUA:KG r = 0,519	

Autor	Probanden	Messgerät und -ort	Korrelation r	
Mughal et al. (1997)	367 (174/193), England 6-15 J	CUBA Clinical device (McCue Ultrasonics, UK): Calcaneus	BUA:KG r = 0,73	
Novotny et al. (2004)	323 Mädchen, Hawaii, 9-14 J	Lunar Achilles: rechter Calcaneus	BUA:KG r = 0,356 SOS:KG n. s.	
Ribeiro et al. (2009)	1356, Brasilien, 6-11 J	DBM Sonic BP (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	AD-SoS:KG r = 0,26 UBPI:KG r = 0,18	
Robinson et al. (2007)	114 Mädchen, USA, 14-18 J	Lunar Achilles Express: rechter Calcaneus	SI:KG r = 0,259	
Sawyer et al. (2001)	283, USA, 6-18 J	Lunar Achilles+: linker Calcaneus	BUA:KG r = 0,643 SOS:KG r = 0,527 SI:KG r = 0,643	
Sundberg et al. (1998)	280, Schweden, 11-16 J	Lunar Achilles+: beide Fersen	Ju	BUA:KG r = 0,59 SOS:KG r = 0,34 SI:KG r = 0,48
			M	BUA:KG r = 0,60 SOS:KG r = 0,30 SI:KG r = 0,47
Uenishi und Nakamura (2010)	38719 (14996/23723), Japan, 15-18 J	AOS 100 (Aloka, Tokyo): rechter Calcaneus	Alle	OSI:KG R ² = 11,2 %
			Ju	OSI:KG R ² = 5,6 %
			M	OSI:KG R ² = 7,6 %
Vignolo et al. (2006)	589 (290/299), Italien, 3-16	DBM Sonic BP (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	Pos. Korrelationen zw. AD-SoS bzw. BTT und Pubertätsstatus	
Wünsche et al. (2000)	(1676/1623), Deutschland, 6-18 J	Sahara (Hologic, USA): rechte Ferse	Ju	BUA:KG r = 0,399
			M	BUA:KG r = 0,543
Yesil et al. (2013)	1617 (811/806), Türkei, 6-14 J	Lunar Achilles: nicht-dominanter Fuß	Ju	SI:KG r = 0,41
			M	SI:KG r = 0,43
Zhu et al. (2007)	726 (360/366), China, 10-21 J	Lunar Achilles: rechte Ferse	Ju	BUA:KG r = 0,408 SOS:KG n. s. SI:KG r = 0,276
			M	BUA:KG r = 0,334 SOS:KG r = 0,117 SI:KG r = 0,277

(Quelle: eigene Darstellung)

Wie in Kapitel 2.2.3 (S. 40) bereits beschrieben, wird davon ausgegangen, dass das Körpergewicht einen zusätzlichen Effekt auf das Knochengewebe ausübt und durch die Belastung des Skeletts die Osteoblastenaktivität angeregt wird, was wiederum in einer höheren Knochenmasse und -dichte resultiert. Dies konnte in einigen wenigen Studien bei Kindern und Jugendlichen, in denen die DXA eingesetzt wurde, gezeigt werden (Vgl. Tabelle 2-12 S. 44).

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit und den Vergleichen mit anderen Studien lässt sich folgern, dass das Körpergewicht einen positiven Einfluss auf die Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen hat.

2) Knochenmasse und BMI

Die Zusammenhänge, die zwischen der Knochenmasse und dem Körpergewicht bei den Schülern und Schülerinnen beschrieben werden (s. o.), werden durch die Ergebnisse bezüglich des BMIs gestützt.

Sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen korreliert der BMI positiv mit dem Steifigkeitsindex. Zudem ist der SI bei den Schülerinnen mit Übergewicht signifikant höher als der SI bei Unter- und Normalgewichtigen. Bei den Schülern ist dies tendenziell zu erkennen, allerdings waren die Unterschiede nicht signifikant.

In vielen Studien ist der BMI mit verschiedenen QUS-Parametern positiv assoziiert (Babaroutsi et al. 2005a, 2005b, Barkmann et al. 2002, Baroncelli et al. 2006, de Carvalho et al. 2011, Cvijetić et al. 2003, Lavado-Garcia et al. 2012, Lin et al. 2007, Minematsu et al. 2012, Ribeiro et al. 2009, Sundberg et al. 1998, Uenishi und Nakamura 2010, Wetter und Economos 2004, Yesil et al. 2013, Zhu et al. 2007).

Die Korrelationen reichen von 0,1 - 0,6 (Vgl. Tabelle 5-11 S. 175).

Negative Korrelationen zwischen dem BMI und SOS am Calcaneus wurden bei Micklesfield et al. (2004) bei weißen Mädchen und bei Mädchen mit einer gemischten Herkunft gefunden. Auch Halaba und Pluskiewicz (2004) beobachteten bei den älteren Mädchen und bei den jüngeren Jungen negative Zusammenhänge zwischen dem BMI und Ad-SoS an den Phalangen.

Longhi et al. (2013) konnten keine signifikanten Zusammenhänge bei 123 übergewichtigen und adipösen Jungen und Mädchen beobachten.

Tabelle 5-11: Zusammenhänge zwischen QUS-Parametern und BMI bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Probanden	Messgerät und -ort	Korrelation r	
Babaroutsi et al. (2005a)	990 Mädchen und Frauen, Griechenland, 10-15; 26-33; 60-75 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): Ferse	Alle	BUA: BMI $r = 0,187$ SOS: BMI n. s. QUI: BMI $r = 0,117$
Babaroutsi et al. (2005b)	462 Jungen und Männer, Griechenland, 10-15; 26-33; 60-75 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): beide Fersen	Alle	BUA: BMI $r = 0,2654$ SOS: BMI n. s.
			10-15 J	BUA: BMI $r = 0,215$
Barkmann et al. (2002)	1328 (678/650), Deutschland 3-17 J	DBMSonic 1200 (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	Ju	AD-Sos: BMI $R^2 = 0,19$ BTT: BMI $R^2 = 0,32$
			M	AD-Sos: BMI $R^2 = 0,23$ BTT: BMI $R^2 = 0,35$
Baroncelli et al. (2006)	3044 (1513/1531), Italien 2-21 J	DBMSonic 1200 (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	Ju	AD-SoS: BMI $r = 0,53$ BTT: BMI $r = 0,59$
			M	AD-SoS: BMI $r = 0,55$ BTT: BMI $r = 0,61$
Cvijetić et al. (2003)	501, Kroatien, 7-10 J, 15-18 J	Sahara sonometer (Hologic): nicht-dominanter Fuß	Ju	k. A.
de Carvalho et al. (2011)	267 (141/126), Brasilien, 8-18 J	DBM Sonic BP (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	Ju	AD-SoS: BMI $r = 0,23$
			M	AD-SoS: FFM $r = 0,34$
Halaba und Pluskiewicz (2004)	1020, Polen, 7-19 J	DBM Sonic 1200 (IGEA, Capri, Italy): Phalangen	Ju	≤ 13 J Ad-SoS: BMI $r = 0,26$
				> 13 J Ad-SoS: BMI $r = 0,26$
			M	10-15 J Ad-SoS: BMI $r = 0,19$
				> 16 J Ad-SoS: BMI $r = 0,32$
Hirota et al. (2005)	(112/114), Japan, 10-15 J	Lunar Achilles A1000: Calcaneus	Ju	SI: BMI $r = 0,22$
			M	SI: BMI $r = 0,29$
Lavado-Garcia et al. (2012)	245 (121/124), Spanien, 4-16 J	DBM Sonic Bone Profiler (IGEA, Capri, Italy): Phalangen	Ju	AD-SoS: BMI $r = 0,309$
			M	AD-SoS: BMI $r = 0,291$

Autor	Probanden	Messgerät und -ort	Korrelation r	
		CUBA Clinical, McCue Ultrasonic, UK): linker Calcaneus	Ju	BUA: BMI $r = 0,410$
			M	BUA: BMI $r = 0,491$
Lappe et al. (2000)	328 (144/184), USA, 8-15,5 J, Follow-up nach 3 J	Signet TM (Osteo-Technology, Cambridge, MA): Patella	Ju	Baseline QUS: BMI $r = 0,38$
				Follow-up QUS: BMI $r = 0,45$
			M	Baseline QUS: BMI $r = 0,29$
				Follow-up QUS: BMI $r = 0,29$
Lin et al. (2007)	(1164/1016), Taiwan 6-13 J	CUBA Clinical device (McCue Ultrasonics, UK): Ferse	Ju	BUA: BMI $r^2 = 0,185$
			M	BUA: BMI $r^2 = 0,194$
Longhi et al. (2013)	123 (70/53), übergewichtig und adipös, $11,2 \pm 2,9$ J	DBM Sonic Bone Profiler (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	Ju	n. s.
			M	n. s.
Micklesfield et al. (2004)	198 Mädchen, Südafrika 7,5-11,7 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): linker Calcaneus	alle	SOS: BMI $r = -0,30$
			„gemischt“	SOS: BMI $r = -0,30$
			Weißer	SOS: BMI $r = -0,61$
Minematsu et al. (2012)	710 (491/219), Japan, 15-20 J	Lunar Achilles: rechter Calcaneus	Ju	Exc SI: BMI $r = 0,209$
				N-Exc SI: BMI $r = 0,177$
			M	N-Exc SI: BMI $r = 0,243$
Ribeiro et al. (2009)	1356, Brasilien, 6-11 a	DBM Sonic BP (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	AD-SoS: BMI $r = 0,07$ UBPI: BMI $r = 0,14$	
Sundberg et al. (1998)	280, Schweden, 11-16 J	Lunar Achilles+: beide Fersen	Ju	BUA: BMI $r = 0,40$ SOS: BMI $r = 0,20$ SI: BMI $r = 0,31$
			M	BUA: BMI $r = 0,50$ SOS: BMI $r = 0,55$ SI: BMI $r = 0,41$
Uenishi und Nakamura (2010)	38719 (14996/23723), Japan, 15-18 J	AOS 100 (Aloka, Tokyo): rechter Calcaneus	Alle	OSI: BMI $R^2 = 6 \%$
			Ju	OSI: BMI $R^2 = 5,1 \%$
			M	OSI: BMI $R^2 = 5,8 \%$

Autor	Probanden	Messgerät und -ort	Korrelation r	
Wetter und Economos (2004)	(76/159), 17-21 J	Lunar Achilles+: nicht-dominanter Fuß	M	BUA:BMI r = 0,364 SI:BMI r = 0,234
Yesil et al. (2013)	1617 (811/806), Türkei, 6-14 J	Lunar Achilles: nicht-dominanter Fuß	Ju	SI:BMI r = 0,25
			M	SI:BMI r = 0,31
Zhu et al. (2007)	726 (360/366), China, 10-21 J	Lunar Achilles: rechte Ferse	Ju	BUA:BMI r = 0,282 SOS:BMI n. s. SI:BMI r = 0,169
			M	BUA:BMI r = 0,259 SOS:BMI r = 0,131 SI:BMI r = 0,238

(Quelle: eigene Darstellung)

3) Körperzusammensetzung

Bei den Schülern sind signifikant positive Zusammenhänge zwischen dem Steifigkeitsindex (SI) und der fettfreien Masse (FFM) sowie der prozentualen FFM gefunden worden. Bei den Schülerinnen konnten signifikant positive Zusammenhänge zwischen dem SI, der FFM und der Fettmasse (FM) beobachtet werden. Zudem gab es bei den Schülerinnen einen signifikant negativen Zusammenhang zwischen SI und der prozentualen FFM.

In der Literatur sind bisher wenige Studien beschrieben worden, die Zusammenhänge zwischen den Variablen der QUS und der Körperzusammensetzung untersucht haben.

Bei 710 japanischen Schülern und Schülerinnen, die zwischen 15 und 20 Jahre alt waren, werden positive Korrelationen zwischen dem Steifigkeitsindex und der FFM bei beiden Geschlechtern in der exercise- und der non-exercise-Gruppe beschrieben. Bei den Jungen und Mädchen, die der exercise-Gruppe zugeordnet wurden, ist der Zusammenhang zwischen dem SI und der FFM etwas stärker (Minematsu et al. 2012).

In einer Studie von Micklesfield et al. (2004) konnte gezeigt werden, dass SOS, gemessen am Calcaneus, mit der prozentualen FFM bei 198 Mädchen mit unterschiedlicher Herkunft im Alter von 7,5 bis 11,7 Jahren positiv assoziiert ist. Vor allem bei den weißen Mädchen war die Korrelation sehr viel höher zwischen SOS und prozentualer FFM im Vergleich zu schwarzen Mädchen bzw. Mädchen mit unterschiedlicher Herkunft. Zwischen BUA und anthropometrischen Größen konnten keine Korrelationen gefunden werden.

Zu einem anderen Ergebnis kommen Wetter und Economos (2004). Hier wurden 235 College-Studierende hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen QUS am Fersenbein und der Körperzusammensetzung sowie der körperlichen Aktivität untersucht. Nur bei den jungen Frauen konnten positive Zusammenhänge zwischen der FFM und der FM und BUA sowie zwischen der FFM und dem SI gefunden werden. Bei den Männern konnten demgegenüber keine Zusammenhänge zwischen den QUS-Parametern und der Körperzusammensetzung gefunden werden.

Lavado-Garcia et al. (2012) konnten in ihrer Studie, an der 245 gesunde Kinder im Alter von 4 bis 16 Jahren teilnahmen, zeigen, dass Zusammenhänge zwischen QUS-Parametern sowohl an den Phalangen als auch am Calcaneus und der Körperzusammensetzung bestehen. Ad-SoS und BUA korrelierten positiv mit der FFM bei beiden Geschlechtern.

Diese Zusammenhänge werden durch die Ergebnisse der Studien von de Carvalho et al. (2011) und Dib et al. (2005) gestützt, an denen 267 Schüler und Schülerinnen im Alter von 8 bis 18 Jahren bzw. 256 Jungen und Mädchen im Alter von 11 bis 16 Jahren teilnahmen. Auch hier wurden positive Zusammenhänge zwischen AD-SoS, gemessen an den Phalangen, und der FFM bei beiden Geschlechtern gefunden.

Darüber hinaus beobachteten Lavado-Garcia et al. (2012), dass Ad-SoS und BUA mit der FM bei den Mädchen positiv assoziiert war, bei den Jungen konnte dies nicht gezeigt werden.

In der Studie von de Carvalho et al. (2011) wurden bei den Mädchen zudem noch positive Zusammenhänge zwischen AD-SoS und FM sowie der prozentualen FM festgestellt. Bei Dib et al. (2005) wird allerdings bei den Jungen ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen AD-SoS und der prozentualen FM beschrieben. Bei der Fettmasse existiert bei beiden Geschlechtern kein Zusammenhang.

Auch bei Ribeiro et al. (2009) wurden positive Assoziationen zwischen den QUS-Parametern und der Körperzusammensetzung beobachtet. Im Gegensatz dazu werden negative Zusammenhänge zwischen der prozentualen Fettmasse und AD-SoS und BTT bei übergewichtigen und adipösen Jungen und Mädchen in einer Studie von Longhi et al. (2013) beschrieben (Vgl. Tabelle 5-12 S. 179).

Die zum Teil etwas widersprüchlichen Befunde im Vergleich zur vorliegenden Untersuchung könnten möglicherweise durch die geringe Anzahl der Teilnehmer in den Gruppen, die unterschiedlichen Ethnizitäten, das jüngere Alter (Micklesfield et al. 2004) sowie durch einen anderen Messort (Phalangen) erklärt werden (de Carvalho et al. 2011, Dib et al. 2005).

Tabelle 5-12: Zusammenhang zwischen QUS-Parametern und der Körperzusammensetzung bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Probanden	Messgerät und -ort	Korrelation r	
de Carvalho et al. (2011)	267 (141/126), Brasilien, 8-18 J	DBM Sonic BP (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	J	AD-SoS:FFM r = 0,51 AD-SoS:FM% r = -0,15
			M	AD-SoS:FFM r = 0,68 AD-SoS:FM r = 0,41 AD-SoS:FM% r = 0,23
Dib et al. (2005)	256 (132/124), Libanon 11-18 J	DBMSonic 1200 (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	J	AD-SoS:FFM r = 0,54 AD-SoS:FM% r = -0,37
				BTT:FFM r = 0,68 BTT:FM% r = -0,25
			M	AD-SoS:FFM r = 0,20
				BTT:FFM r = 0,46 BTT:FM r = 0,19
Lavado- Garcia et al. (2012)	245 (121/124), Spanien, 4-16 J	DBM Sonic Bone Profiler (IGEA, Capri, Italy): Phalangen	J	AD-SoS:FFM r = 0,752
			M	AD-SoS:FFM r = 0,798 AD-SoS:FM r = 0,245
		CUBA Clinical, McCue Ultrasonic, UK): linker Calcaneus	J	BUA:FFM r = 0,620 BUA:FM% r = 0,258
			M	BUA:FFM r = 0,639 BUA:FM r = 0,455 BUA:FM% r = 0,380
Longhi et al. (2013)	123 (70/53), übergewichtig und adipös, 11,2 ± 2,9 J	DBM Sonic Bone Profiler (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	J	AD-SOS:FM% r = -0,41 BTT:FM% r = -0,32
			M	AD-SOS:FM% r = -0,54 BTT:FM% r = -0,34
Micklesfield et al. (2004)	198 Mädchen, Südafrika 7,5-11,7 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): linker Calcaneus	alle	SOS:FM% r = -0,36
			Schwarze	SOS:FFM% r = 0,24
			„gemischt“	SOS:FFM% r = 0,31
			Weißer	SOS:FFM% r = 0,60
Minematsu et al. (2012)	710 (491/219), Japan, 15-20 J	Lunar Achilles: rechter Calcaneus	J	SI:FFM r = 0,395 SI:FM r = -0,125 SI:FM% r = -0,226
				SI:FFM r = 0,354 SI:FM r = -0,119 SI:FM% r = -0,190
			M	SI:FFM r = 0,238 SI:FM r = -0,139 SI:FM% r = -0,240
				SI:FFM r = 0,288
Ribeiro et al. (2009)	1356, Brasilien, 6-11 J	DBM Sonic BP (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	AD-SoS:FFM r = 0,29 AD-SoS:FM r = 0,17 AD-SoS:FM% r = 0,09 UBPI:FFM r = 0,18 UBPI:FM r = 0,17 UBPI:FM% r = 0,13	
Wetter und Economos (2004)	(76/159), 17-21 J	Lunar Achilles+: nicht-dominanter Fuß	M	BUA:FFM r = 0,477
				SI:FFM r = 0,289 BUA:FM r = 0,285

(Quelle: eigene Darstellung)

Studien, die die Knochenmasse mittels DXA bei Kindern und Jugendlichen sowie bei jungen Erwachsenen ermittelt haben, kommen zu ähnlichen Ergebnissen (Vgl. Kapitel 2.2.3 S 40): Die Studien weisen sowohl positive als auch negative Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und der Körperzusammensetzung auf. Hier sind die Korrelationen zum Teil deutlich höher als die, die in der Literatur für die QUS-Parameter beschrieben worden sind (Vgl. Tabelle 2-12 S. 44) und die in dieser Arbeit ermittelt wurden.

Aus den Vergleichen der vorliegenden Ergebnisse mit anderen Studien lässt sich folgern, dass das Körpergewicht und der BMI verlässliche Aussagen über einen Zusammenhang zur Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen liefern. Trotz allem deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die fettfreie Masse zu den „wichtigeren“ Einflussfaktoren in der Entwicklung der Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen zählt.

Die Befunde und Vergleiche lassen den Schluss zu, dass die fettfreie Masse als ein konsistenter sowie robuster Einflussfaktor auf die Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen gesehen werden kann.

5.3.2.2 Knochenmasse und Ernährung

In der vorliegenden Untersuchung konnten keine Zusammenhänge zwischen dem Steifigkeitsindex und dem Lebensmittelverzehr (Milch, Brot, Obst und Gemüse, Fleisch- und Wurstwaren, Fisch, Limonaden, Süßigkeiten und Knabberartikel, Kaffee und Tee) sowie dem BHEI bei den Schülern und Schülerinnen gefunden werden. Nur bei den Schülern gab es eine positive Assoziation zwischen dem SI und dem Fleisch- und Wurstverzehr.

In einigen wenigen Studien wurden schwache Zusammenhänge zwischen verschiedenen QUS-Parametern und der Ernährung, entweder auf der Nährstoffebene für Calcium, Kohlenhydrate und Fett (Babaroutsi et al. 2005a, 2005b, Lavado-Garcia et al. 2012, Micklesfield et al. 2004, Robinson et al. 2007) oder auf der Lebensmittelebene für Gemüse, Obst, Joghurt bzw. Milchprodukte, Limonaden oder Fisch beobachtet (Hirota et al. 2005, Lin et al. 2007, Novotny et al. 2004, Pettinato et al. 2006, Uenishi und Nakamura 2010).

Bei anderen Studien wurden keine Zusammenhänge gefunden (Cvijetić et al. 2003, Dib et al. 2005, Lappe et al. 2000, Sawyer et al. 2001, Yesil et al. 2013) (Vgl. Tabelle 5-13 S. 181).

Tabelle 5-13: Zusammenhang zwischen QUS-Parametern und Ernährung bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Probanden (Anzahl Ju/M)	Messgerät und - ort	Korrelation r	
Babaroutsi et al. (2005a)	990 Mädchen und Frauen, Griechenland, 10-15; 26-33; 60-75 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): Ferse	Alle	BUA:KH r = -0,082 BUA:KH% r = -0,077 SOS:Energie r = -0,083 SOS:KH r = -0,104 QUI:KH r = -0,099
Babaroutsi et al. (2005b)	462 Jungen und Männer, Griechenland, 10-15; 26-33; 60-75 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): beide Fersen	Alle	n. s.
			Ju	SOS:Energie r = 0,177
Cvijetić et al. (2003)	501, Kroatien, 7-10 J; 15-18 J	Sahara clinical bone sonometer (Hologic): nicht-dominanter Fuß	Ju	QUI:Ca n. s.
			M	QUI:Ca n. s.
Dib et al. (2005)	256 (132/124), Libanon 11-18 J	DBMSonic 1200 (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	Ju	AD-SoS:Ca n. s. BTT:Ca n. s.
			M	AD-SoS:Ca n. s. BTT:Ca n. s.
Hirota et al. (2005)	226 (112/114), Japan, 10-15 J	Lunar Achilles A1000: Calcaneus	Ju (10-11 J)	n. s.
			M (10-11 J)	SI:Fisch r = 0,22 SI:Milchprodukte r = 0,20
Lappe et al. (2000)	328 (144/184), USA, 8-15,5 J	Signet™ (Osteo-Technology, Cambridge, MA): Patella	QUS:Ca n. s.	
Lavado-Garcia et al. (2012)	245 (121/124), Spanien, 4-16 J	DBM Sonic Bone Profiler (IGEA, Capri, Italy): Phalangen	Ju	n. s.
			M	Ad-SoS:Ca, Fe, Mg, Ca/Pr r = -0,204-(-0,267)
		CUBA Clinical, McCue Ultrasonic, UK): linker Calcaneus	Ju	n. s.
			M	BUA:Ca, Fe, Mg, Ca/Pr r = -0,209-(-0,289)
Lin et al. (2007)	2180 (1164/1016), Taiwan, 6-13 J	CUBA Clinical, McCue Ultrasonic, UK): Calcaneus	Ju	BUA:Milch n. s. BUA:Joghurt n. s. BUA:Milchprodukte n. s. BUA:Gemüse r = 0,112 BUA/Obst, Saft r = 0,059
			M	BUA:Milch n. s. BUA:Joghurt r = 0,095 BUA:Milchprodukte n. s. BUA:Gemüse r = 0,140 BUA/Obst, Saft r = 0,140
Micklesfield et al. (2004)	198 Mädchen, Südafrika 7,5-11,7 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): linker Calcaneus	Alle	SOS:Ca r = 0,17
			Schwarze	BUA:Ca r = 0,23
			Gemischt	n. s.
			Weiß	n. s.

Autor	Probanden (Anzahl Ju/M)	Messgerät und - ort	Korrelation r	
Novotny et al. (2004)	323 Mädchen, Hawaii, 9-14 J	Lunar Achilles: rechter Calcaneus	BUA:Milchprodukt $r^2 = 1,538$ (?) BUA:Fleischalternative n. s. SOS:Ernährung n. s.	
Pettinato et al. (2006)	151 (71/80), USA, 11-26 J	Omnisense 7000P (Sunlight Medical, Israel): Radius, Tibia	M	SOS _{Radius} :Soda n. s. SOS _{Tibia} :Soda k. A.
			Ju	SOS _{Radius} :Soda $r = -0,34$ SOS _{Tibia} :Soda k. A.
Robinson et al. (2007)	114 Mädchen, USA 14-18 J	Lunar Achilles Express: rechter Calcaneus	SI:Ca $r = 0,286$	
Sawyer et al. (2001)	283, USA 6-18 J	Lunar Achilles+: linker Calcaneus	SI:Ca n. s.	
Uenishi und Nakamura (2010)	38719 (14996/23723), Japan, 15-18 J	AOS 100 (Aloka, Tokyo): rechter Calcaneus	Alle	OSI:Milch $R^2 = 2,8$ % OSI:Joghurt $R^2 = 0,4$ % OSI:Käse $R^2 = 0,1$ %
			Ju	OSI:Milch $R^2 = 1,6$ % OSI:Joghurt $R^2 = 0,5$ % OSI:Käse $R^2 = 0,1$ %
			M	OSI:Milch $R^2 = 1,1$ % OSI:Joghurt $R^2 = 0,5$ % OSI:Käse $R^2 = 0,1$ %
Yesil et al. (2013)	1617 (811/806), Türkei, 6-14 J	Lunar Achilles: nicht-dominanter Fuß	Ju	n. s.
			M	n. s.

(Quelle: eigene Darstellung)

Um Beziehungen zwischen der Knochengesundheit und der Ernährung bei Kindern und Jugendlichen genauer beschreiben zu können, wurden die Informationen des erfragten Lebensmittelverzehrs in einem Index vereint, dem BHEI.

Die Analyse einzelner Lebensmittel oder Nährstoffe bezüglich ihrer Gesundheitsauswirkungen wird der Komplexität der menschlichen Ernährung nicht gerecht. Viele Nährstoffe interagieren und korrelieren miteinander, die Effekte einzelner Nährstoffe sind möglicherweise zu klein, um sie zu detektieren. Ein Index fasst viele Ernährungsinformationen zu einem Indikator zusammen, der das Ernährungsverhalten widerspiegelt und eine Bewertung ermöglicht (Hoffmann et al. 2004a, Kant 1996, Kleiser et al. 2009, Thiele et al. 2004, Waijers et al. 2007, Willett 1998 S. 20ff).

Da es bisher keine Studien gibt, bei der Beziehungen zwischen QUS-Parametern und Ernährungsindizes bei Kindern und Jugendlichen untersucht wurden, werden Studien herangezogen, die mittels DXA die Knochenmasse sowohl bei Kindern und Jugendlichen als auch bei jungen Erwachsenen untersucht haben.

Im Einklang mit dem Ergebnis der vorliegenden Untersuchung wurden bei einigen Studien keine Zusammenhänge zwischen verschiedenen Ernährungsindizes und der Knochenmasse bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen beobachtet (Monjardino et al. 2012, Whittle et al. 2012, Zagarins et al. 2012).

In der EPITeen-Kohorte, die 1180 Jugendliche umfasst, und bei denen im Alter von 13 und 17 Jahren die Knochenmasse am Unterarm mittels DXA bestimmt wurde, konnten keine Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und drei verschiedenen Ernährungsindizes (*Mediterranean diet quality index*, *Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH) diet index* und *Oslo Health Study dietary index*) gefunden werden (Monjardino et al. 2012).

Auch Whittle et al. (2012) konnten bei jungen Erwachsenen keine Zusammenhänge zwischen drei verschiedenen Ernährungs-Scores (*Dietary diversity score*, *Mediterranean diet score* und *Nutritional risk score*) und der Knochenmasse finden, die mittels DXA an der Lendenwirbelsäule und dem Femur bestimmt wurde. Dieses Ergebnis wird durch die Studie von Zagarins et al. (2012) gestützt: Bei 226 Frauen im Alter von 18 bis 30 Jahren wurde untersucht, ob bestehende Indizes der Ernährungsqualität (*Recommended Food Score* und *Alternate Healthy Eating Index (AHEI)*) mit der Knochenmasse assoziiert sind. Auch hier konnten keine Beziehungen gefunden werden, zudem waren einzelne Lebensmittelkomponenten des AHEI nicht mit der Knochenmasse assoziiert.

Im Gegensatz dazu konnten Høstmark et al. (2011) bei 2126 Männern und Frauen im Alter von 30 bis 60 Jahren der *Oslo Health Study* zeigen, dass der Index, der einen häufigen Verzehr von Softdrinks und einen seltenen Verzehr von Obst und Gemüse widerspiegelte, negativ mit der Knochenmasse des Unterarms korreliert ist.

In einigen wenigen Studien wurde die Beziehung zwischen der Knochenmasse und der Ernährung mithilfe von Ernährungsmuster-Analysen bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen untersucht (Langsetmo et al. 2010, Macdonald und Hardcastle 2010, Monjardino et al. 2012, Whittle et al. 2012, Wosje et al. 2010).

Wosje et al. (2010) identifizierten bei 3- bis 7-jährigen Kindern Ernährungsmuster, die mit einer knochengesunden Ernährung einhergehen. Kinder, die einer Ernährung reich an Gemüse folgten und gleichzeitig wenig frittierte Lebensmittel verzehrten, hatten eine hohe Knochenmasse und eine niedrige Fettmasse.

In einer Studie von Whittle et al. (2012) wurde der Zusammenhang zwischen Ernährungsmustern und Knochenmasse bei 489 jungen Erwachsenen im Alter von 20 bis 25 Jahren untersucht. Bei den Frauen mit höheren Scores für das Ernährungsmuster „Nüsse und Fleisch“, das hohe positive Faktorladungen für Nüsse, Schokolade, rotes Fleisch, Fleischgerichte und Geflügel hatte, wurde eine höhere Knochenmasse am Oberschenkelhals bestimmt.

Bei Männern war ein höherer Score für das Ernährungsmuster „*refined*“, das hohe positive Ladungen für süße Nachspeisen, Pommes frites, Chips, Süßwaren, Schokolade und Softdrinks aufwies, mit einem niedrigen Knochenmineralgehalt am Femur assoziiert.

Im Gegensatz dazu konnten keine konsistenten Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und Ernährungsmustern bei 6539 Männern und Frauen ab 25 Jahre in der Studie von Langsetmo et al. (2010) gefunden werden.

Die Erkenntnisse und Befunde in der Literatur bezüglich des Einflusses der Ernährung auf die Knochengesundheit bei Kindern und Jugendlichen sind widersprüchlich. Besonders bei Kindern und Jugendlichen ist dieser Einfluss noch nicht hinreichend erforscht. Insgesamt scheint eine Ernährung reich an Obst und Gemüse eine förderliche Wirkung auf die Knochengesundheit zu haben, wohingegen Softdrinks, Süßigkeiten und Knabberartikel eine gegenteilige bzw. schädigende Wirkung zu haben scheinen.

5.3.2.3 Knochenmasse und körperliche Aktivität

Zwischen dem PAL und dem Steifigkeitsindex können sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen schwach positive Korrelationen gefunden werden.

Diese Ergebnisse stimmen mit den Befunden aus anderen Studien überein (Babaroutsi et al. 2005a, 2005b, Lehtonen-Veromaa et al. 2000a, Micklesfield et al. 2004, Novotny et al. 2004, Rautava et al. 2006, Robinson et al. 2007, Sawyer et al. 2001, Uenishi und Nakamura 2010, Yesil et al. 2013, Zadik et al. 2003), obwohl die Studien aufgrund der unterschiedlichen Operationalisierung der körperlichen Aktivität nur bedingt vergleichbar sind. In keiner der vorgestellten Studien wurde der PAL als Maß für die körperliche Aktivität berechnet, sondern andere Maße wie beispielsweise METs oder Stunden pro Woche für körperliche Aktivitäten. Die Korrelationen reichen von 0,1 bis 0,5.

Es wird von positiven Korrelationen zwischen der körperlichen Aktivität und den QUS-Parametern BUA, SOS sowie SI bei Kindern und Jugendlichen berichtet (Sawyer et al. 2001) bzw. über positive Assoziationen zwischen der körperlichen Aktivität und dem SI (Robinson et al. 2007, Yesil et al. 2013) oder BUA und/oder SOS bei Mädchen (Lehtonen-Veromaa et al. 2000a, Micklesfield et al. 2004, Novotny et al. 2004).

Ähnliche Ergebnisse werden von Babaroutsi et al. (2005b) festgehalten: Bei 192 griechischen Jungen im Alter von 10 bis 15 Jahren korreliert SOS am Calcaneus mit der Zeit, die für organisierte Aktivitäten aufgewendet wird, welche die Bildung von Knochenmasse fördern.

Bei einer Studie derselben Arbeitsgruppe konnte bei den 10- bis 75-jährigen Frauen aus Griechenland gezeigt werden, dass der wöchentliche Zeitaufwand für Fernsehen und Computer wiederum signifikant negativ mit den QUS-Parametern BUA, SOS und QUI assoziiert ist (Babaroutsi et al. 2005a).

Auch eine Längsschnittstudie weist positive Zusammenhänge zwischen der körperlichen Aktivität und den T-Scores des Calcaneus bei Mädchen über eine Follow-up-Zeit von 6 Jahren nach (Rautava et al. 2006).

Im Gegensatz dazu konnten Cvijetić et al. (2003) keine Assoziationen zwischen der Knochensteifigkeit (QUI) am Calcaneus und der körperlichen Aktivität bei 501 Jungen und Mädchen finden. Dies wird durch die Studie von Dib et al. (2005) gestützt: Sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen gibt es keinen Zusammenhang zwischen der körperlichen Aktivität und AD-SoS bzw. BTT an den Phalangen (Vgl. Tabelle 5-14). Auch Lappe et al. (2000) fanden keine Zusammenhänge zwischen den QUS-Werten der Patella und der körperlichen Aktivität bei 328 Kindern und Jugendlichen.

Tabelle 5-14: Zusammenhang zwischen QUS-Parametern und körperlicher Aktivität bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Probanden	Messgerät und -ort	Korrelation r	
Babaroutsi et al. (2005a)	990 Mädchen und Frauen, Griechenland, 10-15; 26-33; 60-75 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): Ferse	Alle	BUA:OPA n. s. BUA:PAPBM R = 0,076 BUA:TAP n. s. BUA:TV/PC R = -0,124
				SOS:OPA R = 0,091 SOS:PAPBM R = 0,099 SOS:TAP n. s. SOS:TV/PC R = -0,079
				QUI:OPA R = 0,080 QUI:PAPBM R = 0,094 QUI:TPA n. s. QUI:TV/PC R = -0,100
Babaroutsi et al. (2005b)	462 Jungen und Männer, Griechenland, 10-15; 26-33; 60-75 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): beide Fersen	Alle	n. s.
			10-15 J	SOS:TOPAPBM r = 0,171
Cvijetić et al. (2003)	501 (232/269), Kroatien, 7-10; 15-18 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): nicht-dominante Fersen	Ju	n. s.
			M	n. s.
Dib et al. (2005)	256 (132/124), Libanon, 11-18 J	DBMSonic 1200 (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	Ju	n. s.
			M	n. s.

Autor	Probanden	Messgerät und -ort	Korrelation r	
Lappe et al. (2000)	328 (144/184), USA, 8-15,5 J	Signet™ (Osteo-Technology, Cambridge, MA): Patella	QUS:WBA n. s.	
Lehtonen-Veromaa et al. (2000a)	184 Mädchen, Finnland, 11-17 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): nicht-dominante Ferse	Prä	BUA:MET r = 0,308 SOS:MET r = 0,301
			Pub	BUA:MET r = 0,190 SOS:MET r = 0,272
Micklesfield et al. (2004)	198 Mädchen, Südafrika 7,5-11,7 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): linker Calcaneus	alle	SOS:Gehen r = 0,20
			Schwarze	SOS:tMET r = 0,32
			„gemischt“	n. s.
			Weißer	n. s.
Novotny et al. (2004)	323 Mädchen, Hawaii, 9-14 J	Lunar Achilles: rechter Calcaneus	BUA:PA r = 0,221 SOS:PA r = 0,288	
Rautava et al. (2006)	140 Mädchen, Finnland, 9-15 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): nicht-dominante Ferse	Baseline	T-Score:MET ² R = 0,247
			2 J Follow-up	T-Score:MET ² R = 0,369
			6 J Follow-up	T-Score:MET ² R = 0,336
Robinson et al. (2007)	114 Mädchen, USA, 14-18 J	Lunar Achilles Express: rechter Calcaneus	SI:MHIA r = 0,451 SI:LNIA n. s. SI:WBA r = 0,286 SI:NWBA n. s.	
Sawyer et al. (2001)	283, USA, 6-18 J	Lunar Achilles+: linker Calcaneus	BUA:WBA (h/Wo) r = 0,339 SOS:WPA (h/Wo) r = 0,330 SI:WPA (h/Wo) r = 0,365	
Uenishi und Nakamura (2010)	38719 (14996/23723), Japan, 15-18 J	AOS 100 (Aloka, Tokyo): rechter Calcaneus	Alle	OSI:FoE R ² = 6,8 %
			Ju	OSI:FoE R ² = 2,7 %
			M	OSI:FoE R ² = 6,2 %
Yesil et al. (2013)	1617 (811/806), Türkei, 6-14 J	Lunar Achilles: nicht-dominanter Fuß	Ju	SI:PA r = 0,05
			M	SI:PA r = 0,07
Zadik et al. (2003)	1085 (490/595), Israel, 0-18 J	Sunlight Omnisense 7000P: Tibia, Radius	SOS-Z-Score _R :LPA n. s. SOS-Z-Score _R :NPA n. s. SOS-Z-Score _R :APA r = 0,07 SOS-Z-Score _R :HPA r = 0,08	
			SOS-Z-Score _T :LPA n. s. SOS-Z-Score _T :NPA n. s. SOS-Z-Score _T :APA r = 0,23 SOS-Z-Score _T :HPA r = 0,23	

WBA = weight-bearing activity

(Quelle: eigene Darstellung)

Die Zusammenhänge, die zwischen den QUS-Parametern und der körperlichen Aktivität bzw. Inaktivität gefunden wurden, stimmen mit den Befunden aus Studien überein, bei denen die DXA bei Kindern und Jugendlichen angewendet wurde (vgl. Kapitel 2.2.2 S. 34), obwohl die Korrelationen zum Teil etwas höher sind (vgl. Tabelle 2-11 S. 37).

Bei Minematsu et al. (2012) wurden die 710 japanischen Schüler und Schülerinnen in eine Sport- und eine Nicht-Sportgruppe eingeteilt. Sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen der Sportgruppe wurden höhere BUA-, SOS- sowie SI-Werte ermittelt.

In einer Studie von Mentzel et al. (2005) wurde bei 177 Sportschülern und -schülerinnen eines Sportgymnasiums die Knochenmasse am Calcaneus bestimmt und mit Referenzdaten verglichen. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Sportler und Sportlerinnen höhere BUA- und SOS-Werte aufwiesen als die Referenzgruppe.

Ähnliche Befunde stellen Daly et al. (1997) vor: Die Ultraschall-Geschwindigkeiten am Calcaneus, Radius und Phalangen von den 33 Turnern waren signifikant höher als die von der Kontrollgruppe mit 40 Kindern. Bei 36 Elite-Turnerinnen (Rhythmische Gymnastik, 18,1 Stunden pro Woche) werden höhere BUA-Werte im Vergleich zu 20 Mädchen, die weniger als 3,5 Stunden in der Woche körperlich aktiv sind, beobachtet (Courteix et al. 2007). Lehtonen-Veromaa et al. (2000a) ermittelten ebenfalls höhere BUA- und SOS-Werte bei 45 puberalen Turnerinnen sowie höhere SOS-Werte bei präpuberalen Läuferinnen im Vergleich zu den Kontrollgruppen (n = 41 bzw. 15). Dieser Unterschied könnte durch eine größere sportliche Intensität bei (angehenden) Leistungssportlern und -sportlerinnen im Vergleich zu den Schülern und Schülerinnen der vorliegenden Untersuchung erklärt werden, die im hohen Maße eine geringe körperliche Aktivität aufwiesen. Mit Ausnahme von Minematsu et al. (2012) sind die Fallzahlen in den Studien sehr gering, so dass die Aussagekraft dieser Studien begrenzt ist.

Aus den Beobachtungen lässt sich schließen, dass die körperliche Aktivität einen schwachen Einfluss auf die Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen hat.

5.3.3 Knochenmasse und weitere Einflussfaktoren

5.3.3.1 Knochenmasse und Pubertätsstatus

In der vorliegenden Untersuchung konnte gezeigt werden, dass positive Assoziationen zwischen dem SI und dem Pubertätsstatus bei den Schülern und Schülerinnen bestehen. Sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen wird mit Zunahme der sexuellen Reifung der Steifigkeitsindex größer. In der Regressionsanalyse erweist sich der Pubertätsstatus als signifikanter Prädiktor des SI.

Aus einigen Querschnittsstudien (Babaroutsi et al. 2005a, Baroncelli et al. 2006, Lum et al. 1999, Pettinato et al. 2006, Ribeiro et al. 2009, van den Bergh et al. 2000, Yesil et al. 2013) sowie zwei Langzeitstudien (Lappe et al. 2000, Vignolo et al. 2006) sind Veränderungen der QUS-Parameter mit Fortschreiten des Reifegrades bei Jungen und Mädchen bekannt.

Widersprüchliche Angaben finden sich jedoch bezüglich des Zeitpunktes und der Höhe des Anstieges der QUS-Parameter bei Jungen und Mädchen (Lappe et al. 2000, van den Bergh et al. 2000, Vignolo et al. 2006). Zudem hat bei den Mädchen das Einsetzen/der Beginn der Menarche eine besondere Bedeutung, da die QUS-Parameter in premenarchalen Mädchen signifikant niedriger sind als bei den postmenarchalen Mädchen (Babaroutsi et al. 2005a, Hirota et al. 2005, van den Bergh et al. 2000, Yesil et al. 2013).

Positive Korrelationen zwischen den verschiedenen QUS-Parametern und dem Pubertätsstatus konnten in einigen Studien gefunden werden (Baroncelli et al. 2006, Cvijetić et al. 2003, Novotny et al. 2004, Ribeiro et al. 2009, van den Bergh et al. 2000, Vignolo et al. 2006, Yesil et al. 2013).

Im Gegensatz dazu wurden bei Brukx und Waelkens (2003) keine Zusammenhänge gefunden (Vgl. Tabelle 5-15).

Tabelle 5-15: Zusammenhang zwischen QUS-Parametern und Pubertätsstatus bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Probanden	Messgerät und -ort	Erfassung Pubertätsstatus	Korrelation r	
Babaroutsi et al. (2005a)	990 Mädchen und Frauen, Griechenland, 10-15; 26-33; 60-75 J	Sahara Clinical Bone Sonometer (Hologic, USA): Ferse	Alter Menarche	Alle	BUA:PS n. s. SOS:PS r = -0,081 QUI:PS n. s.
Baroncelli et al. (2006)	3044 (1513/1531), Italien 2-21 J	DBMSonic 1200 (IGEA, Carpi, Italy): Phalangen	k. A.	J	AD-SoS:PS r = 0,74 BTT:PS r = 0,75
				M	AD-SoS:PS r = 0,73 BTT:PS r = 0,78

Autor	Probanden	Messgerät und -ort	Erfassung Pubertätsstatus	Korrelation r	
Brukx und Waelkens (2003)	282 (145/137), Niederlande, 7,0-18,4 J	Sahara clinical bone sonometer (Hologic): linke Ferse	Tanner, Selbsteinschätzung: J (G, PH), M (B, PH)	J	n. s.
				M	n. s.
Cvijetić et al. (2003)	501, Kroatien, 7-10 J & 15-18 J	Sahara clinical bone sonometer (Hologic): nicht-dominanter Fuß	Tanner, Arzt bei Kindern, Selbsteinschätzung bei Jugendlichen	J	QUI:PS β = 0,223
				M	QUI:PS $r \beta$ = 0,424
Hirota et al. (2005)	(112/114), Japan, 10-11 J	Lunar Achilles A1000: Calcaneus	Alter Menarche	M	SI:PS r = -0,39
Novotny et al. (2004)	323 Mädchen, Hawaii, 9-14 J	Lunar Achilles: rechter Calcaneus	Tanner, Krankenschwester: B, PH	BUA:PH r = 1,524 (?) SOS:PH r = 2,359 (?)	
Ribeiro et al. (2009)	1356, Brasilien, 6-11 J	DBM Sonic BP (IGEA, Carpi, Italy): nicht-dominante Hand	Marshall und Tanner, Selbsteinschätzung: J (G), M (B)	AD-SoS:PS r = 0,32 UBPI:PS r = 0,19	
van den Bergh et al. (2000)	491 (229/262), Niederlande, 6-21 J	UBIS 3000 (DMS, Frankreich): Calcaneus	Tanner, Selbsteinschätzung: J (G, PH), M (B, PH)	J	BUA:PS r = 0,62 SOS:PS n. s.
				M	BUA:PS r = 0,73 BUA:Men r = -0,06 SOS:PS n. s. SOS:Men n. s.
Vignolo et al. (2006)	589 (290/299), Italien, 3-16 J	DBM Sonic Bone Profiler (IGEA, Carpi, Italy): nicht-dominante Hand	Tanner, Selbsteinschätzung: J (G), M (B)	Pos. Korrelation zw. AD-SoS bzw. BTT mit PS	
Yesil et al. (2013)	1617 (811/806), Türkei, 6-14 J	Lunar Achilles: nicht-dominanter Fuß	Tanner, Selbsteinschätzung; Zeit seit Menarche	J	SI:PS r = 0,43
				M	SI:PS r = 0,36 SI:Men r = 0,22

AD-SoS = amplitude-dependent speed of sound; UBPI = Ultrasound bone profile index

(Quelle: eigene Darstellung)

In der Studie von van den Bergh et al. (2000), bei der 491 Kinder und Jugendliche zwischen 6 und 21 Jahren untersucht wurden, waren die BUA-Werte bei beiden Geschlechtern im Tanner-Stadium 1 verglichen mit den höheren Pubertätsstadien signifikant niedriger. Bei den Jungen waren diese Werte im Tanner-Stadium 5 signifikant höher als in den anderen Stadien, bei den Mädchen war dies in den Tanner-Stadien 3 und 5 der Fall. Auch Baroncelli et al. (2006) zeigen, dass die QUS-Parameter, gemessen an den Phalangen, bei den Mädchen und Jungen mit den verschiedenen Pubertätsstadien zunehmen, mit einer Ausnahme bei den Jungen: Die AD-SoS-Werte werden von den Pubertätsstadien 1 zu 2, 3 zu 4 und 4 zu 5 signifikant größer, nur von 2 zu 3 unterscheiden sie sich nicht signifikant voneinander.

Cvijetić et al. (2003) konnten beim Vergleich zwischen 244 präpuberalen Kindern und 259 postpuberalen Jugendlichen zeigen, dass alle QUS-Parameter (BUA, QUI) mit Ausnahme von SOS, die am Calcaneus mit dem Sahara-Sonometer ermittelt wurden, bei den postpuberalen Jugendlichen signifikant höher waren. Auch in der Studie von Baroncelli et al. (2006), in der bei 1491 Jungen und Mädchen der Grad der sexuellen Reifung bestimmt und Aussagen über die Knochengesundheit mittels QUS an den Phalangen gemacht wurden, erhöhten sich AD-SoS und BTT mit steigendem Pubertätsstadium.

Vergleichbare Ergebnisse werden in der Studie von Pettinato et al. (2006) beschrieben. Jungen und Mädchen, die die sexuelle Reifung vollendet haben, hatten signifikant höhere SOS-Werte an Radius und Tibia als die Jugendlichen, die in einem niedrigeren Pubertätsstadium waren.

Bezüglich des Ereignisses der Menarche machen die Studien von Babaroutsi et al. (2005a) und van den Bergh et al. (2000) deutlich, dass die Mädchen, bei denen die Menarche noch nicht eingesetzt hat, signifikant niedrigere QUS-Werte aufwiesen als postmenarchale Mädchen.

Bei Vignolo et al. (2006) wurden die Schulkinder mit einem Abstand von etwa 2 Jahren hinsichtlich der QUS-Parameter an den Phalangen zweimal untersucht. Die Jungen und Mädchen ab 10 bzw. 9 Jahren wurden in Pubertäts-Klassen (präpuberal, früh-puberal, mit-puberal, spät-puberal) eingeteilt. Bei den Mädchen nahmen die QUS-Variablen AD-SoS und BTT in der mit-puberalen Phase am stärksten zu. In der späten puberalen Phase tendierten die Werte dazu abzufallen. Bei den Jungen stiegen AD-SoS und BTT in der frühen und mid-puberalen Phase nur leicht an. Dafür wiesen die QUS-Parameter in der späten Phase höhere Zuwächse auf. Des Weiteren scheinen die QUS-Werte bei den Mädchen in der prä- und früh-puberalen Phase etwas höher zu sein als bei den Jungen.

Dieses Ergebnis wird von Baroncelli et al. (2006) gestützt: AD-SoS war in den Pubertätsstadien 2, 3 und 4 bei den Mädchen höher als bei den Jungen. Nur im Stadium 5 waren die AD-SoS-Werte bei den Jungen im Vergleich zu den Mädchen höher.

Keine Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen gab es im Pubertätsstadium 1. Bei den BTT-Werten dreht sich diese Beobachtung um: Hier haben die Jungen in den Stadien 1, 2 und 5 höhere Werte als die Mädchen im gleichen Pubertätsstadium.

Im Gegensatz dazu stellten van den Bergh et al. (2000) dar, dass die BUA-Werte in den Tanner-Stadien 1, 2 und 3 bei Jungen signifikant größer waren als bei den Mädchen in den entsprechenden Stadien. SOS war bei den Jungen in den Pubertätsstadien 2 und 4 größer im Vergleich zu den Werten bei den Mädchen.

Die Unterschiede der QUS-Werte bei den verschiedenen puberalen Stadien zwischen Jungen und Mädchen sind wahrscheinlich auf den Messort (Phalangen vs. Calcaneus) zurückzuführen.

Bei Novotny et al. (2004) erwies sich der Pubertätsstatus als höchster signifikanter Einflussfaktor für BUA und SOS.

Aus der Diskussion lässt sich schließen, dass der Pubertätsstatus eine wichtige Rolle bei der Entwicklung der Knochenmasse im Kindes- und Jugendalter spielt.

5.3.3.2 Knochenmasse und soziodemographische Merkmale

Nur bei den Schülern wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem SI und dem Bildungsniveau des Vaters ermittelt. Bezüglich des Migrationshintergrundes konnten keine Beziehungen bei den Schülern und Schülerinnen beobachtet werden.

Holmes et al. (2010) konnten keinen Unterschied zwischen den verschiedenen Einkommensgruppen der Eltern und den SOS-Werten von Tibia und Radius bei 442 kanadischen Schülerinnen im Alter von 9 bis 12 Jahren beobachten.

In einer Studie von Ribeiro et al. (2009), an der 1356 Kinder aus Brasilien im Alter von 6 bis 11 Jahren teilnahmen, bestehen positive Assoziationen zwischen den QUS-Parametern der Phalangen und dem sozioökonomischen Status (AD-SoS:SES $r = 0,14$; UBPI:SES $r = 0,14$), der anhand des Bildungsstands, der Anzahl von Haushälterinnen und von verschiedenen Besitztümern ermittelt wurde. Des Weiteren konnten sie nachweisen, dass der SES neben weiteren Faktoren wie Körpergröße, Geschlecht und prozentuale Fettmasse einen signifikanten Einfluss auf AD-SoS bzw. UBPI haben.

Aufgrund der unterschiedlichen Operationalisierung des SES sind die Studien nur schwer vergleichbar.

Es gibt bisher keine Studien, die einen Zusammenhang zwischen QUS-Knochenmasseparametern und dem Migrationshintergrund untersucht haben.

5.3.3.3 Knochenmasse und Aufenthaltsdauer im Freien

In der vorliegenden Untersuchung konnten keine Zusammenhänge zwischen den QUS-Parametern und der Aufenthaltsdauer im Freien beobachtet werden.

Bisher hat lediglich eine Studie diesen Zusammenhang bei Kindern und Jugendlichen untersucht: Bei Dib et al. (2005) konnten keine signifikanten Korrelationen zwischen der Sonnenexposition und QUS-Parametern gefunden werden mit Ausnahme bei den Jungen für BTT. Hier bestand ein schwacher positiver Zusammenhang.

Aufgrund der spärlichen Datenlage kann hierzu keine abschließende Bewertung vorgenommen werden.

5.3.3.4 Knochenmasse und Rauchen

Es konnten positive Zusammenhänge zwischen dem Rauchstatus der Schüler und Schülerinnen und dem SI gefunden werden. Allerdings ist der SI bei Nichtrauchern signifikant vermindert im Vergleich zu den Rauchern (Vgl. Anhang A 4-27 S. 267).

Dieses Ergebnis steht nicht im Einklang mit den Ergebnissen, die in der Literatur beschrieben worden sind (Babaroutsi et al. 2005a, 2005b, Eleftheriou et al. 2013, Gerdhem und Obrant 2002).

In der Studie von Gerdhem und Obrant (2002), an der 1042 75-jährige Frauen teilnahmen, wurden signifikant niedrigere BUA-, SOS- und SI-Werte, gemessen am Calcaneus mithilfe von QUS, bei Raucherinnen im Vergleich zu Nichtraucherinnen gefunden. Auch Untersuchungen mittels DXA bei denselben Frauen zeigten, dass die Knochenmasse des gesamten Körpers und der Hüfte bei Raucherinnen im Gegensatz zu den Nichtraucherinnen vermindert ist. Allerdings wurden bei Untersuchungen an den Phalangen mittels QUS keine Unterschiede zwischen den zwei Gruppen gefunden.

Bei 572 gesunden männlichen Militärrekruten der UK-Armee im Alter von 16 bis 18 Jahren konnte nachgewiesen werden, dass bei Rauchern die BUA-Werte signifikant niedriger waren als bei Nichtrauchern und ehemaligen Rauchern. Auch die VOS-Werte waren bei Rauchern im Vergleich zu den Werten der Nichtraucher signifikant niedriger. Die Autoren merken weiterhin an, dass die BUA-Werte von Nichtrauchern und ehemaligen Rauchern vergleichbar waren ebenso wie die Werte von Rauchern und ehemaligen Rauchern, die erst vor kurzem mit dem Rauchen aufgehört haben. Zudem beeinflusste der Rauchstatus BUA und VOS signifikant (Eleftheriou et al. 2013).

Bei Babaroutsi et al. (2005a, 2005b) wurde auch der Zusammenhang zwischen Rauchen und QUS-Parametern untersucht, allerdings wurden nur die Informationen der Erwachsenen sowie der Senioren und Seniorinnen dahingehend ausgewertet. Es konnten keine Zusammenhänge beobachtet werden.

In der vorliegenden Studie konnte ermittelt werden, dass die Schüler und Schülerinnen, die rauchen, signifikant älter waren als diejenigen, die nicht rauchen (Vgl. Anhang A 4-28 S. 268). Dies könnte erklären, warum die SI-Werte größer waren, denn der SI nimmt mit steigendem Alter zu (Vgl. Kapitel 4.3.1 S. 119, Kapitel 5.3.1 S. 162).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Rauchen einen negativen Effekt auf den Aufbau der Knochenmasse zu haben scheint.

5.3.3.5 Einnahme von Kontrazeptiva

In der vorliegenden Untersuchung konnte gezeigt werden, dass der SI bei den Mädchen, die Kontrazeptiva nutzen, im Vergleich zu den Mädchen, die keine Kontrazeptiva einnehmen, signifikant höher war. Es konnte aber auch ermittelt werden, dass die Nutzerinnen von Kontrazeptiva signifikant älter sind als die Nicht-Nutzerinnen (Vgl. Anhang A 4-29 S. 268). Allerdings konnten bei den Schülerinnen keine Zusammenhänge zwischen der Einnahme von Kontrazeptiva und der Knochenmasse gefunden werden. Zu beachten ist, dass nur 6 % der Schülerinnen die Anti-Baby-Pille einnehmen.

Diese Befunde stehen im Einklang mit zwei Studien (Holmes et al. 2010, Klentrou und Ludwa 2011). In der Studie von Holmes et al. (2010) waren die SOS-Werte des Radius bei den Mädchen, die ein Kontrazeptivum einnahmen, signifikant größer als bei den Mädchen, die keines einnahmen. Allerdings konnten Klentrou und Ludwa (2011) sowie Holmes et al. (2010) zeigen, dass die Kontrazeptiva-einnehmenden Mädchen signifikant älter waren als die Nicht-Nutzerinnen.

5.3.3.6 Vitamin D im ersten Lebensjahr

Zwischen der Einnahme von Vitamin D im ersten Lebensjahr und dem Steifigkeitsindex kann bei den Schülern und Schülerinnen der vorliegenden Arbeit kein Zusammenhang ermittelt werden.

Mimouni und Shamir (2009) vertreten die Meinung, dass bisher noch nicht bekannt ist, ob eine hohe tägliche Dosis von Vitamin D-Supplementen beispielsweise Osteoporose möglicherweise vorbeugen kann.

5.3.4 Zusammenfassende Betrachtung Knochenmasse und Einflussfaktoren

In der vorliegenden Untersuchung erwiesen sich das Alter, die fettfreie Masse, das Geschlecht und der PAL als signifikante Prädiktoren des SI. Insgesamt wurden 36 % der Varianz durch diese Faktoren erklärt, 4 % allein durch Lebensstilfaktoren.

Bei einigen wenigen Studien wurden bei Kindern und Jugendlichen die Einflussfaktoren des SI bestimmt (Robinson et al. 2007, Sawyer et al. 2001, Wetter und Economos 2004, Yesil et al. 2013). Die Varianzen des SI, die durch die Einflussfaktoren insgesamt erklärt werden konnten, lagen zwischen 4 und 51 %. Der Anteil der Varianz, der nur durch die Lebensstilfaktoren erklärt werden konnte, lag zwischen 1 und 36 % (Vgl. Tabelle 5-16).

Tabelle 5-16: Prädiktoren der Knochenmasse mittels QUS bei Kindern und Jugendlichen

Autor	Parameter	Prädiktoren		Koeffizient	R ²	SEE
Babaroutsi et al. (2005a)	QUI (schrittweise Regression)	Altersgruppe (1 = Erwachsener)		11,23	0,196	16,04
		Alter [J]		-0,23		
		BMI [kg/m ²]		0,51		
		PA [h/Woche]		0,82		
		Kohlenhydrataufnahme [g]		-0,02		
Cvijetić et al. (2003)	QUI (multiple Regression)	Ju	Pubertät	0,223	k. A.	k. A.
			Körpergröße [cm]	n. s.		
			Körpergewicht [kg]	0,531		
			BMI [kg/m ²]	0,261		
			Ca-Aufnahme [mg/d]	n. s.		
			PA [h/Woche]	n. s.		
		M	Pubertät	0,424		
			Körpergröße [cm]	n. s.		
			Körpergewicht [kg]	0,399		
			BMI [kg/m ²]	n. s.		
			Ca-Aufnahme [mg/d]	n. s.		
			PA [h/Woche]	n. s.		
Robinson et al. (2007)	SI (schrittweise Regression)	MHIA [h]		k. A.	0,205	k. A.
		Ca-Aufnahme [mg]			0,284	
		Körpergewicht [kg]			0,363	
Sawyer et al. (2001)	SI (schrittweise Regression)	Alter [J]		k. A.	0,448	k. A.
		Körpergewicht [kg]			0,504	
		PA (h/Wo)			0,514	
Uenishi und Nakamura (2010)	OSI (multiple Regression)	Alle	Milch [ml/d]	0,016	20,0	k. A.
			Joghurt [ml/d]	0,011		
			Käse [g/d]	n. s.		
			PA [Häufigkeit/Woche]	0,064		
			Körpergewicht [kg]	0,599		
			Geschlecht [1 = m, 0 = w]	0,035		

Autor	Parameter	Prädiktoren	Koeffizient	R ²	SEE
			Alter [J]	0,052	
		Ju	Milch [ml/d]	0,02	
			Joghurt [ml/d]	0,01	
			Käse [g/d]	n. s.	
			PA [Häufigkeit/Woche]	0,059	
			Körpergewicht [kg]	0,512	
			Alter [J]	0,082	
		M	Milch [ml/d]	0,013	
			Joghurt [ml/d]	0,012	
			Käse [g/d]	n. s.	
			PA [Häufigkeit/Woche]	0,07	
			Körpergewicht [kg]	0,659	
			Alter [J]	0,033	
Wetter und Economos (2004)	SI (multiple Regression)	Ju	Greifkraft [kg]	n. s.	0,213
			Muskelmasse [kg]	n. s.	
			PA (moderater/intensiver Sport: 1 = ja, 0 = nein)	10,22	
		M	Greifkraft [kg]	0,730	0,191
			Muskelmasse [kg]	2,347	
			PA (moderat/intensiv: 1 = ja, 0 = nein)	7,28	
Yesil et al. (2013)	SI (multiple Regression)	Ju	Alter	k. A.	0,20
			Körpergewicht		
		M	Jahre seit Menarche	k. A.	0,04

k. A. = keine Angabe, PA = körperliche Aktivität, MHIA = moderate to high-impact activities

(Quelle: eigene Darstellung)

Sawyer et al. (2001) konnten in ihrer Studie zeigen, dass das Alter der Kinder und Jugendlichen der größte Einflussfaktor des SI ist. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen in der vorliegenden Studie. Auch hier erwies sich das Alter als wichtigster Prädiktor.

Auch bei Yesil et al. (2013) erklärte das Alter die Varianz des SI am besten, allerdings nur bei Jungen. Zusätzlich dazu erwies sich das Körpergewicht bei den Jungen als weiterer Prädiktor des SI. Bei den Mädchen waren es nur die Jahre seit der Menarche.

Bei Robinson et al. (2007) sowie Wetter und Economos (2004) wurden nur Lebensstilfaktoren in die Regression aufgenommen. In der Studie von Robinson et al. (2007) konnte eine Beziehung zwischen SI am Calcaneus und der Kombination von moderater bis hoher körperlicher Aktivität, der aktuellen Calciumaufnahme sowie dem Körpergewicht bei 114 Mädchen im Alter von 14 bis 18 Jahren gezeigt werden.

Wetter und Economos (2004) konnten darstellen, dass sich bei den jungen Männern die körperliche Aktivität als signifikanter Prädiktor erwies. Bei den jungen Frauen waren es zusätzlich zur körperlichen Aktivität noch die Greifkraft und die Muskelmasse. Die Körperzusammensetzung wurde mittels BIA ermittelt. Diese Befunde stützen die Ergebnisse in der vorliegenden Arbeit: Die körperliche Aktivität ist ein wichtiger Einflussfaktor für die Knochenmasse während des Wachstums bei Kindern und Jugendlichen.

Wie in der Studie von Robinson et al. (2007) gezeigt werden konnte, hat die aktuelle Calciumaufnahme einen positiven Einfluss auf die Knochenmasse. Im Unterschied dazu konnten Sawyer et al. (2001) keinen Einfluss des SI durch die Calciumaufnahme bei Kindern und Jugendlichen ermitteln. Die Autoren merken an, dass der Calcaneus in einem höheren Maße auf körperliche Aktivität anspricht als auf Calcium, vor allem, wenn eine adäquate Zufuhr von Calcium bereits vorhanden ist. Möglicherweise kommt der Unterschied dadurch zustande, dass Robinson et al. (2007) ein Ernährungstagebuch eingesetzt haben, um die Calciumaufnahme der Mädchen zu schätzen, wohingegen Sawyer et al. (2001) Informationen über die Anzahl der täglich verzehrten Portionen von Milchprodukten erfragt haben.

Andere Studien, die Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und verschiedenen Einflussfaktoren mittels der QUS am Fersenbein eingesetzt haben, aber Geräte von anderen Herstellern genutzt haben, kommen zu ähnlichen Ergebnissen (Cvijetić et al. 2003, Babaroutsi et al. 2005a, Uenishi und Nakamura 2010). Auch hier zeigen sich das Alter, die körperliche Aktivität und das Körpergewicht oder der BMI als signifikante Prädiktoren.

Bei Uenishi und Nakamura (2010) ist auch der Verzehr von Milch und Milchprodukten mit der Knochenmasse am Calcaneus assoziiert. Dies konnte in der vorliegenden Untersuchung nicht ermittelt werden.

Im Einklang mit der Literatur hat der Lebensstilfaktor körperliche Aktivität unter Berücksichtigung der Körperzusammensetzung, des Alters und des Geschlechts einen entscheidenden Einfluss auf die Knochenmasse am Calcaneus bei Kindern und Jugendlichen während des Wachstums.

5.3.5 Risiko für eine verminderte Knochenmasse

In der vorliegenden Studie weisen die Schüler und Schülerinnen mit einer niedrigen Knochenmasse einen geringeren BMI auf als diejenigen mit einer hohen Knochenmasse. Die Schüler sind zudem signifikant häufiger untergewichtig und seltener übergewichtig.

Babaroutsi et al. (2005a) zeigten bei 217 griechischen Mädchen im Alter von 10 bis 15 Jahren, dass die BUA-Werte, gemessen am Calcaneus, bei Übergewichtigen und Adipösen höher sind als bei normalgewichtigen Mädchen. Dies konnte auch bei 235 Frauen und 369 Seniorinnen festgestellt werden.

Ähnliche Ergebnisse wurden in einer Studie bei griechischen Männern derselben Arbeitsgruppe gefunden (Babaroutsi et al. 2005b). Auch hier sind die BUA-Werte bei übergewichtigen und adipösen Jungen, Erwachsenen und Senioren signifikant höher als bei Normalgewichtigen in der jeweiligen Altersgruppe. Sowohl SOS als auch QUI unterscheiden sich demgegenüber nicht signifikant in den beiden Gruppen mit Normal- bzw. Übergewicht bei den Jungen und Mädchen (Babaroutsi et al. 2005a, 2005b).

Im Gegensatz dazu konnten Eliakim et al. (2001) zeigen, dass bei 45 übergewichtigen Kindern und Jugendlichen im Vergleich zu den gleichaltrigen normalgewichtigen Jungen und Mädchen die SOS-Werte, gemessen am Radius (Unterarmknochen) und Tibia (Schienbein), verringert sind. Falk et al. (2008) beobachtete bei übergewichtigen Jungen niedrigere SOS-Werte an der Tibia. Die SOS-Werte am Radius dahingegen unterscheiden sich nicht bei übergewichtigen und normalgewichtigen Jungen voneinander.

Bialo et al. (2014) zeigen, dass hinsichtlich der Knochengesundheit sowohl untergewichtige als auch übergewichtige Kinder und Jugendliche von einem „gesunden“ Körpergewicht profitieren und dass dieser Zustand erreicht werden sollte.

Die Schüler und Schülerinnen der vorliegenden Untersuchung weisen ein tendenziell ungünstigeres Ernährungs- (weniger Milch und Milchprodukte, weniger Fisch, weniger Brot, mehr Süßigkeiten, mehr Knabberartikel) auf. Zudem trinken die Schülerinnen signifikant mehr Limonade.

In der Literatur wird der positive Effekt von Milch und Milchprodukten auf die Knochengesundheit hervorgehoben. Viele Studien konnten positive Assoziationen zwischen dem Verzehr von Milchprodukten und dem Knochenmineralgehalt zeigen (Caroli et al. 2011, Michaëlsson et al. 1995, Rizzoli 2014). Dies scheint sich auch bei Kindern und Jugendlichen zu bestätigen (Bonjour et al. 1997, Cadogan et al. 1997, Esterle et al. 2009, Matkovic et al. 2004b, Merrilees et al. 2000).

Esterle et al. (2009) konnten in ihrer Untersuchung zeigen, dass Mädchen mit einem niedrigen Milchkonsum (< 55 mL/d) signifikant niedrigere BMD- und BMC-Gehalte sowie IGF-1- und höhere PTH-Konzentrationen aufwiesen als Mädchen mit einem höheren Konsum (> 260 mL/d). In einer Studie von Matkovic et al. (2004b) hatten die Mädchen im Alter von 15 bis 18 Jahren in der „dairy“-Gruppe höhere BMD-Werte an der Lendenwirbelsäule als die Mädchen in der Calcium- bzw. Placebo-Supplementationsgruppe. Der positive Effekt der Milch und Milchprodukte wird durch die gute Verfügbarkeit von Calcium und Protein erklärt (Huth et al. 2006).

Ein hoher regelmäßiger Verzehr von Milch und Milchprodukten in der Kindheit und Jugend scheint einen wichtigen Beitrag zur Calciumversorgung zu leisten, was wiederum einen positiven Effekt auf die Knochenmasse ausübt. Somit sollte der tägliche Konsum von Milch und Milchprodukten bis ins junge Erwachsenenalter gefördert werden. Eine Verringerung des Milchkonsums aufgrund einer möglichen bzw. auf subjektiven Empfindungen basierenden Laktose- oder Milchintoleranz sollte vermieden werden (Matlik et al. 2007).

Einige Studien deuten darauf hin, dass der Konsum von Softdrinks die Knochenmasse vermindert (Libuda et al. 2008, McGartland et al. 2003, Pettinato et al. 2006, Whiting et al. 2001) und das Frakturrisiko bei Kindern und Jugendlichen erhöht (Ma und Jones 2004, Wyshak 2000).

Libuda et al. (2008) untersuchten bei 228 gesunden Kindern und Jugendlichen im Alter von 6 bis 18 Jahren den Zusammenhang zwischen dem Langzeitverzehr von Softdrinks und der Knochenmasse. Der langzeitige Verzehr von Softdrinks insgesamt und von nicht-koffeinierten Softdrinks war negativ mit dem Knochenmineralgehalt, der kortikalen Fläche und dem polaren Kraft-Belastungsindex assoziiert. Diese Parameter spiegeln eine Kombination des *modelings* und des *remodelings* wider. Koffeinhaltige Softdrinks waren ebenfalls negativ mit den Parametern des *modelings* (polarer Kraft-Belastungsindex, Umfang des Periost) assoziiert.

Bei Pettinato et al. (2006) wurde bei den Mädchen ein negativer Zusammenhang zwischen SOS am Radius und der Aufnahme von kalorienhaltigen Limonaden ermittelt. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit anderen Studien, bei denen ebenfalls ein negativer Zusammenhang zwischen der Knochenmasse und dem Verzehr von Softdrinks bzw. Cola bei Mädchen, aber nicht bei Jungen, gefunden wurde (McGartland et al. 2003, Whiting et al. 2001) bzw. das Risiko für Frakturen erhöht war (Wyshak 2000). Sogar bei älteren Frauen, aber nicht bei Männern, der Framingham Osteoporosis Study war der Colakonsum mit einer niedrigen Knochenmasse assoziiert (Tucker et al. 2006).

Ma und Jones (2004) konnten eine Assoziation zwischen dem Colaverzehr und dem Frakturrisiko des Handgelenks und des Unterarms bei 412 Kindern und Jugendlichen beobachten, allerdings hob sich dieser Effekt auf, nachdem für Inaktivität und Knochenmineraldichte adjustiert wurde. Dies deutet darauf hin, dass der Softdrinkkonsum bei Kindern und Jugendlichen ein Indikator für einen ungesunden und inaktiven Lebensstil sein kann.

Zwei Gründe für den negativen Einfluss der Softdrinks und Limonaden auf die Knochenmasse im Kindes und Jugendalter werden in diesem Zusammenhang diskutiert: die Verminderung des Milchkonsums zugunsten der Softdrinks sowie der Säuregehalt der Softdrinks.

Vor allem im Jugendalter wird Milch oft durch Softdrinks und Limonaden ersetzt. Die daraus resultierende geringere Aufnahme von Milch und Calcium gilt als entscheidender Risikofaktor für die Knochengesundheit. Die Säure, die durch diese Getränke zugeführt wird, könnte den Knochenabbau fördern, da sie die Osteoklasten stimuliert.

Der Obst- und Gemüsekonsum unterscheidet sich bei den Schülern und Schülerinnen mit einer niedrigen Knochenmasse nicht von denjenigen mit einer hohen Knochenmasse.

Bei Erwachsenen konnte dahingegen beobachtet werden, dass eine Ernährung reich an Obst und Gemüse einen positiven Einfluss auf die Knochenmasse hat (Lin et al. 2003, Macdonald et al. 2004, New et al. 1997, New et al. 2000, Tucker et al. 2001). Ob dies auch bei Kindern und Jugendlichen zutrifft, wurde in einigen wenigen Studien untersucht (McGartland et al. 2004, Prynne et al. 2006, Tyllavsky et al. 2004, Vatanparast et al. 2005).

Tyllavsky et al. (2004) und McGartland et al. (2004) zeigten in ihren Studien, dass ein adäquater Obst- und Gemüseverzehr die Knochengesundheit bei 56 Mädchen bzw. bei 378 Mädchen im Alter von 12 Jahren des „The Northern Ireland Young Hearts Project“ positiv beeinflusst. Bei den Jungen konnten keine Zusammenhänge nachgewiesen werden (McGartland et al. 2004).

Von einem zum Teil etwas gegensätzlichen Befund berichten Prynne et al. (2006): Vor allem bei den 111 Jungen im Alter von 16 bis 18 Jahren konnten signifikant positive Assoziationen zwischen dem Knochenmineralgehalt, der Knochenfläche sowie der Knochenmineraldichte und dem Obst- bzw. Obst- und Gemüseverzehr in Kombination an fast allen Skelettregionen (gesamter Körper, Hüfte, Trochanter bzw. zusätzlich noch Lendenwirbelsäule, Oberschenkelhals) nachgewiesen werden. Für Gemüse wurden nur Assoziationen bei der BMC des gesamten Körpers sowie des Oberschenkelhalses gefunden. Bei den 101 Mädchen hingegen traf dies bei der BMC und BMD der Lendenwirbelsäule sowie der BMD des gesamten Körpers zu. Der Gemüsekonsum war bei den Mädchen nicht mit der Knochenmasse assoziiert.

Auch Vatanparast et al. (2005) beobachteten, dass der Obst- und Gemüseverzehr bei Jungen zwischen 8 und 20 Jahren einen positiven Einfluss auf die Knochenmasse hat. Bei Mädchen konnten dahingegen keine Zusammenhänge gefunden werden.

Der positive Effekt von Obst und Gemüse könnte auf die darin enthaltenden Vitamine und Mineralstoffe zurückzuführen sein. Vitamin C beispielsweise ist wichtig für die Kollagen-Hydroxylierung. Auch Magnesium und Kalium werden in diesem Zusammenhang diskutiert.

Eine Ernährung reich an alkalischen Salzen schützt den Knochen durch das Abpuffern der metabolisch entstehenden Säureäquivalente, die aus dem Nahrungsprotein gebildet werden. Somit müssen diese Salze nicht aus dem Knochen gelöst werden. Aber auch andere Inhaltsstoffe wie Vitamin K könnten für die positive Wirkung von Obst und Gemüse auf den Knochen verantwortlich sein.

Eine erhöhte Frakturanfälligkeit bei den Schülern und Schülerinnen mit einer verminderten Knochenmasse im Gegensatz zu denjenigen mit einer hohen Knochenmasse zeigt sich nicht.

Im Gegensatz dazu konnten Manias et al. (2006) bei 150 Kindern und Jugendlichen im Alter von 4 bis 16 Jahren zeigen, dass die Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen mit Frakturen niedriger war als bei denjenigen ohne Fraktur. Dieses Ergebnis wird durch die Studie von Ferrari et al. (2006) gestützt, bei der 125 Mädchen hinsichtlich der Beziehung zwischen dem Auftreten von Frakturen und ihrer Knochenmasse untersucht wurden. Bei den Mädchen mit Frakturen ist die Zunahme der Knochenmasse im Vergleich zu den Mädchen ohne Frakturen vermindert und die Größe der Wirbelkörper bei Erreichen der sexuellen Reife reduziert. Auch Clark et al. (2006) finden diesen Zusammenhang bei 6213 Kindern im Alter von 9,9 Jahren aus der ALSPAC-Kohorte (*Avon Longitudinal Study of Parents and Children*), die 2 Jahre lang nachuntersucht wurden.

6 Schlussbetrachtung

In der vorliegenden Arbeit wurde im Rahmen der Studie „Knochengesundheit von Schwäbisch Gmünder SchülerInnen“ eine umfassende Betrachtung der Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und verschiedenen potenziellen Einflussfaktoren von gesunden Kindern und Jugendlichen durchgeführt.

Bei dieser Studie handelte es sich nicht um eine repräsentativ angelegte Querschnittsstudie. Die Schüler und Schülerinnen haben freiwillig an der Studie teilgenommen. Hinsichtlich ihrer Lebensstilfaktoren konnte ein gutes Abbild für die in Deutschland lebenden Kinder und Jugendlichen nachgezeichnet werden.

Über die Schüler und Schülerinnen, die nicht an der Studie teilgenommen haben, liegen keine weiteren Informationen vor. Mögliche Gründe können die fehlende Zustimmung der Eltern oder Krankheit am Untersuchungstag sein. Eine Non-Responder-Analyse kann Hinweise darauf geben, ob es bei der Auswahl von Teilnehmern zu einer Verzerrung gekommen ist. Für die Aussagekraft von Studienergebnissen ist es von Bedeutung, ob sich die nicht teilnehmenden Personen von den Studienteilnehmern hinsichtlich wichtiger Merkmale (z. B. gesundheitliche Risikofaktoren, soziodemographische Merkmale etc.) unterscheiden (Hoffmann et al. 2004b, Kamtsiuris et al. 2007, Koch 1997, Latza et al. 2004). Ein direkter Kontakt zu den Eltern war aufgrund des Studiendesigns nicht möglich, da die Eltern ausschließlich über den Elternbrief über die Studie informiert wurden, der von den Lehrern und Lehrerinnen ausgegeben wurde.

Um die Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und den verschiedenen Lebensstilfaktoren zu untersuchen, wurden zunächst methodische Fragen geklärt: Ein wichtiger Punkt war die Auswahl einer geeigneten Formel zur Berechnung der Körperzusammensetzung aus den Messergebnissen der BIA.

In der vorliegenden Arbeit wird die Methode der bioelektrischen Impedanzanalyse zur Erfassung der Körperzusammensetzung herangezogen. Zunächst wurden aus den Messergebnissen der BIA mithilfe mehrerer vorhandener Gleichungen aus der Literatur die Körperzusammensetzung berechnet und die Ergebnisse miteinander verglichen. Die Analyse hat ergeben, dass die ermittelten Werte der Körperzusammensetzung in Abhängigkeit von der verwendeten Formel zum Teil stark voneinander abweichen.

Für die Auswahl einer geeigneten Formel zur Berechnung der Körperzusammensetzung wurden verschiedene Kriterien herangezogen. Die Formel sollte an einem gesunden und ausreichend großen Kollektiv validiert worden sein. Zudem sollten im Validierungskollektiv sowohl Jungen als auch Mädchen im Alter von 10 bis 17 Jahren in ausreichendem Umfang vertreten sein.

Die Teilnehmer der Validierungsstudie sollten bezüglich der anthropometrischen Daten möglichst gut mit den Schülern und Schülerinnen der vorliegenden Untersuchung übereinstimmen. Weiterhin sollte in der Validierungsstudie der gleiche Gerätetyp für die BIA wie in dieser Studie eingesetzt worden sein. Unter Erfüllung der meisten genannten Kriterien wird zur Berechnung der Körperzusammensetzung aus den Messergebnissen der BIA für die fettfreie Masse die validierte Formel von Plachta-Danielzik et al. (2012) ausgewählt.

Durch die Verwendung einer validierten Formel mit einer Referenzmethode zur Berechnung der Körperzusammensetzung wird sichergestellt, dass die Messergebnisse eine höhere Messgenauigkeit aufweisen, die sich den Ergebnissen der Referenzmethode annähern bzw. ähnlich sind. Auch wenn die Genauigkeit der BIA als etwas geringer einzustufen ist als die Genauigkeit mittels DXA oder ADP (Air-Displacement-Plethysmography) (Bosy-Westphal et al. 2006), wäre es aufgrund des hohen Aufwandes und der hohen Kosten nicht möglich gewesen, diese Methoden zur Erfassung der Körperzusammensetzung einzusetzen. Ein weiterer Grund, der gegen den Einsatz dieser Methoden spricht, ist, dass diese im Gegensatz zur BIA nicht portabel sind und die Befragungen und Untersuchungen in den Schulen nicht durchführbar gewesen wären.

Weiterhin wurde überprüft, ob die Antworten des Fragebogens hinsichtlich der Ernährung, körperlichen Aktivität und des Pubertätsstatus bei wiederholter Befragung (= Wiederholbarkeit, Zuverlässigkeit, Reproduzierbarkeit) übereinstimmen. Dazu wurden die Fragebögen zweimal mit einem zeitlichen Abstand von etwa 2 Wochen an ein weiteres Kollektiv von Schülerinnen und Schülern aus Baden-Württemberg zum Ausfüllen gegeben. Als Maß für die Reproduzierbarkeit ist der Korrelationskoeffizient nach Spearman für die jeweiligen Themengebiete der ersten und zweiten Befragung berechnet worden. Der Verzehrhäufigkeitsfragebogen und der Fragebogen zur körperlichen Aktivität sind reproduzierbar. Sie sind zur Erfassung der Ernährungs- und Bewegungsgewohnheiten für diese Altersgruppe geeignet.

Korrelationskoeffizienten messen die Stärke des Zusammenhangs zwischen zwei Befragungen (Cade et al. 2002). Eine hohe Korrelation kann nicht mit einer hohen Übereinstimmung gleichgesetzt werden.

Korrelationen sind abhängig von der Spannweite und der Verteilung der Variablen sowie von den ausgewählten Personen. Zudem werden systematische Verzerrungen zwischen zwei Variablen bei Korrelationen ignoriert (Bland und Altman 2003, Grouven et al. 2007).

Die meisten Publikationen im Ernährungs- (Buzzard et al. 2001 Lanfer et al. 2011, Matthys et al. 2007, Rockett et al. 1995) und Bewegungsbereich (Aaron et al. 1993, Corder et al. 2009, Koo und Rohan 1999, Storey und McCargar 2012), die die Reproduzierbarkeit untersucht haben, berechneten als Maß für die Übereinstimmung zwischen den Messungen ebenfalls Korrelations-, Kappa- oder Intraclass-Korrelationskoeffizienten.

In Bezug auf die quantitative Ultrasonometrie am Calcaneus wird deutlich, dass sich die Messparameter, mit höherem Alter bzw. mit dem Wachstum bei den Schülern und Schülerinnen ansteigen. Im Mittel unterscheiden sich die QUS-Parameter nicht zwischen den beiden Geschlechtern, jedoch wenn diese nach verschiedenen Altersklassen aufgeteilt werden: BUA, SOS und SI sind bei den 13-jährigen Schülerinnen signifikant größer im Vergleich zu den Werten der gleichaltrigen Schüler. Die ermittelten Ergebnisse sind vergleichbar mit Ergebnissen aus anderen Studien, bei denen ebenfalls das Achilles-Gerät verwendet wurde.

Die QUS ist eine präzise, kostengünstige, einfache und röntgenstrahlenfreie Methode, die mittels der DXA bei Kindern und Jugendlichen validiert wurde (Ahuja et al. 2006, Alwis et al. 2010, Brukx und Waelkens 2003, Falcini et al. 2000, Fielding et al. 2003, Jaworski et al. 1995, Lehtonen-Veromaa et al. 2000a, Lum et al. 1999, Mughal et al. 1996, Sundberg et al. 1998, Wang et al. 2008). Das QUS-Gerät Achilles Insight, welches die Knochenmasse am Calcaneus ermittelt, stellt eine geeignete Methode für Kinder und Jugendliche dar, den Knochenstatus abzuschätzen.

Ein Schwerpunkt dieser Arbeit stellte die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und den verschiedenen Lebensstilfaktoren dar. Soweit der Autorin bekannt ist, handelt es sich um eine der umfangreichsten Untersuchungen, die zu dieser Thematik bislang bei Kindern und Jugendlichen durchgeführt wurde. Zudem gibt es nur vereinzelt Daten zur Knochenmasse bei Kindern und Jugendlichen insbesondere in Deutschland, die mittels QUS ermittelt wurden.

In den Regressionsanalysen dieser Arbeit hat die körperliche Aktivität unter Berücksichtigung der Körperzusammensetzung, des Alters und des Geschlechts einen Einfluss auf die Knochenmasse des Calcaneus, was im Einklang mit der Literatur ist (Babaroutsi et al. 2005a, Robinson et al. 2007, Sawyer et al. 2001, Uenishi und Nakamura 2010, Wetter und Economos 2004, Yesil et al. 2013). Die Ernährung erweist sich in der vorliegenden Arbeit nicht als Einflussfaktor auf die Knochenmasse. Auch dies ist in der Literatur beschrieben worden (Cvijetić et al. 2003, Sawyer et al. 2001). Möglicherweise ist der Calcaneus als Messort nicht geeignet, um Ernährungseffekte im Kindes- und Jugendalter zu beobachten.

Die körperliche Aktivität und/oder die Muskelmasse üben den entscheidenden Einfluss auf die Knochenmasse des Calcaneus aus. Durch die daraus resultierenden, unterschiedlichen Belastungen erhöht sich die Knochenfestigkeit, womit wiederum das Risiko für osteoporotische Frakturen im höheren Alter vermindert werden kann.

Des Weiteren wurde untersucht, ob sich Kinder und Jugendliche mit einer niedrigen Knochenmasse von denjenigen mit einer hohen Knochenmasse hinsichtlich der verschiedenen Lebensstilfaktoren unterscheiden. Dafür wurden die Daten des Steifigkeitsindex anhand der 10. und 90. Perzentile für jede Altersgruppe und nach Geschlecht aufgeteilt.

Schüler und Schülerinnen mit einer niedrigen Knochenmasse weisen einen geringeren BMI auf. Schüler mit einer niedrigen Knochenmasse sind häufiger von Untergewicht und seltener von Übergewicht betroffen. Zudem verzehren die Schülerinnen mehr Limonaden und sind tendenziell weniger körperlich aktiv.

Daraus ergibt sich für Kinder und Jugendliche mit einer niedrigen Knochenmasse ein Risiko, ihre optimale Knochenmasse nicht zu erreichen.

Bei den hier präsentierten Ergebnissen muss berücksichtigt werden, dass alle Daten zum Lebensstil und zu weiteren Einflussfaktoren mittels Fragebogen erhoben wurden und somit ausschließlich auf Selbstangaben der Kinder und Jugendlichen und zum Teil der Eltern beruhen. Es kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass im Falle der Ernährung und körperlichen Aktivität sozial erwünschte Antworten gegeben worden sind. Da die Angaben im Mittel aber in etwa denen des altersentsprechenden Bundesdurchschnitts entsprechen (Lampert et al. 2007a, 2007b, Mensink et al. 2007a, 2007b), kann davon ausgegangen werden, dass dies bei der vorliegenden Untersuchung keine große Rolle gespielt hat.

Obwohl der Lebensstil sowohl bei Kindern und Jugendlichen mit niedrigem Bildungshintergrund als auch mit Migrationshintergrund als ungünstig zu bewerten ist, unterscheidet sich die Knochenmasse nicht zwischen den verschiedenen Gruppen.

Die Bildung und eine Migrationserfahrung haben hier keine Auswirkungen auf die Knochengesundheit gezeigt.

In der vorliegenden Arbeit ist der Bildungshintergrund der Schüler und Schülerinnen als Maß für den sozioökonomischen Status auf Basis des höchsten Schulabschlusses bzw. der beruflichen Qualifikation der Eltern verwendet worden. Es wurden keine Informationen zum Haushaltsnettoeinkommen oder zur beruflichen Stellung erfragt, obwohl die Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Epidemiologie dies empfiehlt (Jöckel o. J.). Es wurde bewusst von dieser Empfehlung abgewichen, um die Teilnahmebereitschaft nicht zu gefährden.

Migranten sind eine sehr heterogene Gruppe und oft besteht keine einheitliche, präzise und operationalisierbare Definition für den Migrationshintergrund (Lange et al. 2007). Vor diesem Hintergrund erfolgte die Operationalisierung des Migrationshintergrundes anhand der KiGGS-Kriterien: Es wurden das Geburtsland des Kindes, der Mutter und des Vaters sowie die Staatsangehörigkeit der beiden Elternteile berücksichtigt. Somit werden auch Kinder und Jugendliche der zweiten Einwanderergeneration berücksichtigt, die nicht selbst zugewandert sind (Schenk et al. 2007).

Es wird davon ausgegangen, dass sich eine Migrationserfahrung auf die Gesundheit auswirken kann. Allerdings gibt es zu wenig Informationen über die zugrunde liegenden Bedingungen, das Ausmaß und die Art und Weise der Beeinflussung durch die Migrationserfahrung (Lange et al. 2007). Migrationshintergrund birgt neben Krankheitsrisiken auch Gesundheitsressourcen.

Die Ergebnisse dieser Studie lassen sich anhand der eingangs gestellten Fragen wie folgt zusammenfassen (Vgl. Kapitel 2.4 S. 57ff):

Tabelle 6-1: Kurzüberblick über die Ergebnisse der Fragestellung

Fragestellung		Ergebnisse
1)	Inwieweit unterscheidet sich die mit den verschiedenen Formeln berechnete fettfreie Masse bei Jungen und Mädchen?	Die aus den Messergebnissen der BIA berechneten Werte für die fettfreie Masse unterscheiden sich deutlich in Abhängigkeit von der verwendeten Formel.
	Welche Formel ist geeignet, bei den Schülern und Schülerinnen die fettfreie Masse aus den Daten der BIA zu berechnen?	Die validierte Formel von Plachta-Danielzik et al. (2012) ist geeignet, die fettfreie Masse aus den Daten der BIA zu berechnen.
2)	Wie ist die Reproduzierbarkeit des eingesetzten Fragebogens hinsichtlich der Fragen zur Ernährung und Bewegung zu beurteilen?	Der Verzehrhäufigkeitsfragebogen und der Fragebogen zur körperlichen Aktivität sind reproduzierbar. Sie sind zur Erfassung der Ernährungs- und Bewegungsgewohnheiten für diese Altersgruppe geeignet.
3)	Wie sind die Knochenmasse-Parameter der quantitativen Ultraschallsonometrie bei Kindern und Jugendlichen zu beurteilen?	Die Ergebnisse der QUS-Messungen am Calcaneus sind mit anderen Studien, die die QUS am Calcaneus bei Kindern und Jugendlichen verwendet haben, vergleichbar. Die QUS-Parameter nehmen mit dem Alter zu.

Fragestellung		Ergebnisse
4)	Bestehen Zusammenhänge zwischen der Körperzusammensetzung, der Ernährung, der Bewegung, soziodemographischen Merkmalen und der Knochenmasse während der Knochenentwicklung im Kindes- und Jugendalter?	Die körperliche Aktivität hat unter Berücksichtigung der Körperzusammensetzung, des Alters und des Geschlechts einen entscheidenden Einfluss auf die Knochenmasse. Die Ernährung, das Rauchen, die Aufenthaltsdauer im Freien, der Pubertätsstatus, die Einnahme von Kontrazeptiva und soziodemographische Merkmale haben keinen Einfluss auf die Knochenmasse.
5)	Unterscheiden sich Kinder und Jugendliche mit einer niedrigen Knochenmasse von Kindern und Jugendlichen mit einer hohen Knochenmasse hinsichtlich der verschiedenen Lebensstilfaktoren?	Schüler und Schülerinnen mit einer niedrigen Knochenmasse weisen einen geringeren BMI auf. Schüler mit einer niedrigen Knochenmasse sind häufiger von Untergewicht und seltener von Übergewicht betroffen. Schülerinnen trinken mehr Limonade.
6)	Gibt es Unterschiede in der Knochenmasse unter Berücksichtigung des Lebensstils bei Kindern und Jugendlichen mit unterschiedlichem sozialen Status und/oder Migrationshintergrund?	Es bestehen keine Unterschiede bei der Knochenmasse zwischen Kindern und Jugendlichen mit unterschiedlichem Bildungs- und/oder Migrationshintergrund

(Quelle: eigene Darstellung)

Ausgehend von den hier ermittelten Ergebnissen ist festzuhalten, dass es Zusammenhänge zwischen der Knochenmasse und verschiedenen Lebensstilfaktoren gibt. Dabei stellt sich die körperliche Aktivität unter Berücksichtigung der Körperzusammensetzung als entscheidender Einflussfaktor auf die Knochenmasse in der Kindheit und Jugend heraus. Hinsichtlich der Knochengesundheit konnten Risikogruppen identifiziert werden: Kinder und Jugendliche mit Untergewicht sowie mit einem tendenziell ungünstigen Ernährungs- und Bewegungsverhalten.

Schüler und Schülerinnen besuchen die Schule bis in die 13. Klassenstufe täglich etwa 6 Stunden – und die Schule ist ein Ort der sozialen, psychologischen, physiologischen und intellektuellen Entwicklung. Die Gesundheit von Schülern und Schülerinnen ist mit deren akademischem Erfolg eng verbunden, der wiederum in engem Zusammenhang mit der Gesundheit steht. Somit ist das Setting Schule von besonderer Relevanz, da hier die Gesundheit durch Schaffung einer gesunden Lern- und Lebenswelt verbessert werden kann.

Gesundheitsfördernde Maßnahmen der Verhaltens- und Verhältnisprävention erreichen aufgrund der Schulpflicht vor allem die Schüler und Schülerinnen, aber auch das Schulpersonal, die betreffenden Familien und Mitglieder der Kommune/Gemeinde unabhängig von der Herkunft, dem Bildungshintergrund und/oder dem Einkommen (Centers for Disease Control and Prevention 2011, WHO 1997).

Programme zur Bewegung und Ernährung schaffen Anreize für mehr körperliche Aktivität und eine günstigere Lebensmittelauswahl und können einen positiven Einfluss auf die Knochengesundheit ausüben. Tägliche Bewegungsangebote vor allem während des Aufenthalts in der Schule sind sinnvoll. Somit kann die körperliche Aktivität einen Beitrag zur Verminderung des Risikos leisten, an Osteoporose im höheren Lebensalter zu erkranken.

Abschließend lässt sich bezüglich der in der vorliegenden Untersuchung erzielten Resultate festhalten, dass die Beziehungen zwischen der Knochenmasse und den Lebensstilfaktoren anhand von Langzeituntersuchungen überprüft und bei der Entwicklung von Interventionsprogrammen berücksichtigt werden sollten.

7 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit basiert auf der Studie „Knochengesundheit von Schwäbisch Gmünder SchülerInnen“, in der von 2010 bis 2011 in Schwäbisch Gmünd und Umgebung bei 10- bis 17-jährigen Schülern und Schülerinnen der Knochenstatus sowie verschiedene Einflussfaktoren beobachtet wurden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Zusammenhang zwischen der Knochenmasse und dem Lebensstil (Ernährung, Bewegung, Rauchen), der Körperzusammensetzung sowie soziodemographischen und -ökonomischen Daten (Alter, Geschlecht, Bildungsstand, Migrationshintergrund) untersucht.

Aus den erhobenen Daten der quantitativen Ultrasonometrie am Fersenbein wurden bei 232 Schülern und 250 Schülerinnen die Knochenmasseparameter Breitband-Ultraschall-Abschwächung, Ultraschallgeschwindigkeit und Steifigkeitsindex ermittelt. Im Mittel unterscheiden sich diese Parameter zwischen den Geschlechtern nicht signifikant voneinander. Alle drei Parameter nehmen mit steigendem Alter sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen zu. Der Steifigkeitsindex korreliert bei den Schülern und Schülerinnen signifikant positiv mit dem Alter. Ausgehend von den Ergebnissen der Regressionsanalyse stellt das Alter einen signifikant positiven Prädiktor des Steifigkeitsindex dar.

Bei beiden Geschlechtern besteht eine signifikant positive Korrelation zwischen dem Steifigkeitsindex und dem Körpergewicht. Den Regressionsgleichungen zufolge hat das Körpergewicht sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen einen positiven Einfluss auf den Steifigkeitsindex

Auch der BMI korreliert signifikant positiv mit dem Steifigkeitsindex der Schüler und Schülerinnen. Übergewichtige Schülerinnen haben einen signifikant höheren Steifigkeitsindex als die Unter- oder Normalgewichtigen. Bei den Schülern kann eine Zunahme des Steifigkeitsindex hinsichtlich der Einteilung des BMIs in Unter-, Normal- und Übergewicht beobachtet werden, die allerdings nicht signifikant ist. Der BMI erweist sich bei der Regressionsanalyse als signifikanter Prädiktor des SI sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen.

Bei den Schülern korrelieren die fettfreie Masse sowie der prozentuale Anteil der fettfreien Masse signifikant positiv mit dem Steifigkeitsindex, wohingegen keine Korrelation zwischen der Fettmasse und dem Steifigkeitsindex beobachtet wird. Bei den Schülerinnen gibt es eine signifikant positive Korrelation zwischen der fettfreien Masse und der Fettmasse mit dem Steifigkeitsindex.

Der prozentuale Anteil der fettfreien Masse am Körpergewicht korreliert bei den Schülerinnen indes signifikant negativ mit dem Steifigkeitsindex. Nach den Ergebnissen der Regressionsanalyse weisen bei den Schülern sowohl die absolute als auch die prozentuale fettfreie Masse eine signifikant positive Beziehung mit dem Steifigkeitsindex auf. Bei den Schülerinnen erweisen sich die fettfreie Masse und die Fettmasse als signifikant positive Prädiktoren und die prozentuale fettfreie Masse als signifikant negativer Prädiktor des Steifigkeitsindex.

Zwischen dem Steifigkeitsindex und dem Index für eine knochengesunde Ernährung konnte keine Korrelation bei den Schülerinnen und Schülern nachgewiesen werden. Hinsichtlich des Lebensmittelverzehrs korrelieren bei den Schülern der Fleisch- und Wurstkonsum signifikant positiv mit dem Steifigkeitsindex wohingegen bei den Schülerinnen keine Assoziation zwischen dem Verzehr verschiedener Lebensmittel und dem Steifigkeitsindex beobachtet werden kann. In der Regressionsanalyse hat der Kaffee- und Teekonsum bei beiden Geschlechtern einen positiven Einfluss auf den Steifigkeitsindex. Bei den Schülerinnen erweist sich hier der Wurstverzehr als signifikant negativer Prädiktor und bei den Schülern der Fisch als signifikant positiver Prädiktor des Steifigkeitsindex.

Bei der körperlichen Aktivität gibt es bei den Schülerinnen und Schüler signifikant positive Zusammenhänge zwischen dem Steifigkeitsindex und dem körperlichen Aktivitätslevel (PAL). Der Steifigkeitsindex korreliert bei den Schülerinnen signifikant positiv mit dem Medienkonsum und signifikant negativ mit Schlafen, Fahrrad fahren und Spielen im Freien. Bei den Schülern wiederum können signifikant positive Zusammenhänge zwischen dem Steifigkeitsindex und sportlichen Aktivitäten gesamt, sportlichen Aktivitäten mit schweren Intensitäten sowie Haus- und Gartenarbeit beobachtet werden. Signifikant negative Zusammenhänge ergeben sich beim Schlafen und beim Spielen im Freien. Bezüglich der Ergebnisse der Regressionsanalyse existieren bei beiden Geschlechtern ein signifikant positiver Effekt des PALs sowie ein signifikant negativer Effekt des Schlafens auf den Steifigkeitsindex. Bei den Schülerinnen erweisen sich das Gehen sowie der Medienkonsum als signifikanter Prädiktor des Steifigkeitsindex. Im Gegensatz dazu haben bei den Schülern Sport gesamt und Sport schwer einen signifikant positiven Einfluss auf den Steifigkeitsindex. Hinsichtlich der Pubertät können bei beiden Geschlechtern signifikant positive Zusammenhänge zwischen dem Steifigkeitsindex und dem Pubertätsstatus beobachtet werden. Das heißt, dass mit zunehmendem Reifegrad der Steifigkeitsindex signifikant größer wird.

Der Bildungshintergrund, aber nicht der Migrationshintergrund, korreliert signifikant mit dem Steifigkeitsindex.

Darüber hinaus können keine signifikanten Korrelationen zwischen dem Steifigkeitsindex und weiteren Faktoren wie Aufenthalt im Freien und Einnahme von Vitamin D im ersten Lebensjahr beobachtet werden. Das Rauchen korreliert bei beiden Geschlechtern signifikant positiv mit dem Steifigkeitsindex, wohingegen in der Regressionsanalyse ein signifikant negativer Einfluss des Rauchens auf den SI ermittelt wurde. Schülerinnen, die Kontrazeptiva einnehmen, weisen einen höheren Steifigkeitsindex auf als Schülerinnen, die keine Kontrazeptiva einnehmen. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse zeigen, dass die Einnahme von Kontrazeptiva keinen Einfluss auf den Steifigkeitsindex ausübt.

Bei der gemeinsamen Betrachtung der genannten Faktoren im Regressionsmodell erweisen sich das Alter, die fettfreie Masse, das Geschlecht und der PAL als signifikante Prädiktoren des Steifigkeitsindex, wohingegen die Fettmasse, die Aufenthaltsdauer im Freien, der Index für eine knochengesunde Ernährung (BHEI), das Rauchen und die Einnahme von Kontrazeptiva keinen Einfluss auf den Steifigkeitsindex haben. Wenn diese Einflussfaktoren getrennt nach Geschlecht in der Regressionsanalyse betrachtet werden, haben bei den Schülern das Alter und der PAL und bei den Schülerinnen die fettfreie Masse und das Alter einen signifikant positiven Einfluss auf den Steifigkeitsindex.

Schüler und Schülerinnen mit einer niedrigen Knochenmasse weisen im Vergleich zu denjenigen mit einer hohen Knochenmasse einen signifikant niedrigeren BMI auf. Zudem sind die Schüler mit einer niedrigen Knochenmasse häufiger von Untergewicht und seltener von Übergewicht betroffen. Die Schülerinnen verzehren signifikant mehr Limonaden. Hinsichtlich der körperlichen Aktivität ist zu erkennen, dass sich die Schüler und Schülerinnen mit einer niedrigen Knochenmasse tendenziell weniger bewegen und weniger im Freien aufhalten.

Ausgehend von den Messergebnissen der bioelektrischen Impedanzanalyse wurde bei 232 Schülern und 251 Schülerinnen die fettfreie Masse mittels 8 Formeln aus der Literatur sowie der integrierten Formel des Herstellers bestimmt. Die Differenz zwischen der niedrigsten und der höchsten berechneten mittleren fettfreien Masse beträgt bei den Schülern 6,1 kg und bei den Schülerinnen 7,0 kg. Zwischen allen eingesetzten Formeln können signifikant positive Korrelationen in einem Bereich von 0,85 bis 1,00 bei den Schülern und Schülerinnen beobachtet werden. Für die Auswahl einer geeigneten Formel wurden verschiedene Kriterien bezüglich der methodischen Grundlagen, des Validierungskollektivs, des Gerätetyps und der Elektrodenplatzierung entwickelt. Anhand dieser Kriterien wurde für die Berechnung der fettfreien Masse die Gleichung von Plachta-Danielzik et al. (2012) ausgewählt.

An der Studie zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit der Fragebogenteile zur Ernährung und Bewegung haben 102 Jungen und 90 Mädchen aus Baden-Württemberg teilgenommen. Bezüglich der Ernährung kann festgehalten werden, dass die Verzehrmenen während der zweiten Befragung geringer sind. Zwischen den Verzehrmenen der ersten und zweiten Befragung können bei allen Lebensmitteln signifikant positive Korrelationen beobachtet werden, die von 0,46 bis 0,72 reichen. Bei der körperlichen Aktivität ergeben sich überwiegend keine Unterschiede der mittleren Dauer für verschiedene (In-)Aktivitäten. Hinsichtlich der (In-)Aktivitäten zwischen der ersten und zweiten Befragung ergeben sich signifikant positive Korrelationen (0,38-0,74). Sowohl bei dem Fragebogenteil zur Ernährung als auch zur Bewegung können keine konsistenten Unterschiede bei den Korrelationskoeffizienten zwischen Geschlecht oder Alter beobachtet werden.

In Hinblick auf die Ergebnisse der vorliegenden Studie hat das Aktivitätsverhalten unter Berücksichtigung der Körperzusammensetzung, des Geschlechts und des Alters einen entscheidenden Einfluss auf die Knochenmasse von Kindern und Jugendlichen.

8 Literatur

1. Aaron DJ, Kriska AM, Dearwater SR, Anderson RL, Olsen TL, Cauley JA, Laporte RE. The epidemiology of leisure physical activity in an adolescent population
Med Sci Sports Exerc 1993, 25(7): 847–853
2. Abel T. Measuring health lifestyles in a comparative analysis: theoretical issues and empirical findings
Soc Sci Med 1991, 32(8): 899–908
3. Abrams SA. Nutritional rickets: an old disease returns
Nutr Rev 2002, 60(4): 111–115
4. Adams JE. Single and dual energy X-ray absorptiometry
Eur Radiol 1997, 7 Suppl 2: S20-31
5. Ahima RS. Adipose tissue as an endocrine organ
Obesity (Silver Spring) 2006, 14 Suppl 5: 242S-249S
6. Ahuja SP, Greenspan SL, Lin Y, Bowen A, Bartels D, Goyal RK. A pilot study of heel ultrasound to screen for low bone mass in children with leukemia
J Pediatr Hematol Oncol 2006, 28(7): 427–432
7. Ala-Houhala M, Koskinen T, Koskinen M, Visakorpi JK. Double blind study on the need for vitamin D supplementation in prepubertal children
Acta Paediatr Scand 1988, 77(1): 89–93
8. Alenfeld FE, Engelke K, Schmidt D, Brezger M, Diessel E, Felsenberg D. Diagnostic agreement of two calcaneal ultrasound devices: the Sahara bone sonometer and the Achilles+
Br J Radiol 2002, 75(899): 895–902
9. Alexy U, Clausen K, Kersting M. Die Ernährung gesunder Kinder und Jugendlicher nach dem Konzept der Optimierte Mischkost
Ernährungs Umschau 2008(3): 168–177
10. Alexy U, Remer T, Manz F, Neu CM, Schoenau E. Long-term protein intake and dietary potential renal acid load are associated with bone modeling and remodeling at the proximal radius in healthy children
Am J Clin Nutr 2005, 82(5): 1107–1114
11. Alwis G, Rosengren B, Nilsson JA, Stenevi-Lundgren S, Sundberg M, Sernbo I, Karlsson MK. Normative calcaneal quantitative ultrasound data as an estimation of skeletal development in Swedish children and adolescents
Calcif Tissue Int 2010, 87(6): 493–506
12. Ambrosini GL, Klerk NH de, O'Sullivan TA, Beilin LJ, Oddy WH. The reliability of a food frequency questionnaire for use among adolescents
Eur J Clin Nutr 2009, 63(10): 1251–1259
13. Andersen LF, Nes M, Lillegaard IT, Sandstad B, Bjørneboe GE, Drevon CA. Evaluation of a quantitative food frequency questionnaire used in a group of Norwegian adolescents
Eur J Clin Nutr 1995, 49(8): 543–554
14. Andersen R, Mølgaard C, Skovgaard LT, Brot C, Cashman KD, Jakobsen J, Lamberg-Allardt C, Ovesen L. Effect of vitamin D supplementation on bone and vitamin D status among Pakistani immigrants in Denmark: a randomised double-blinded placebo-controlled intervention study
BJN 2008, 100(01): 197–207

15. Arabi A, Tamim H, Nabulsi M, Maalouf J, Khalifé H, Choucair M, Vieth R, El-Hajj Fuleihan G. Sex differences in the effect of body-composition variables on bone mass in healthy children and adolescents
Am J Clin Nutr 2004, 80(5): 1428–1435
16. Babaroutsi E, Magkos F, Manios Y, Sidossis LS. Body mass index, calcium intake, and physical activity affect calcaneal ultrasound in healthy Greek males in an age-dependent and parameter-specific manner
J Bone Miner Metab 2005b, 23(2): 157–166
17. Babaroutsi E, Magkos F, Manios Y, Sidossis LS. Lifestyle factors affecting heel ultrasound in Greek females across different life stages
Osteoporos Int 2005a, 16(5): 552–561
18. Bachrach LK. Acquisition of optimal bone mass in childhood and adolescence
Trends Endocrinol Metab 2001, 12(1): 22–28
19. Bachrach LK. Measuring Bone Mass in Children: Can We Really Do It?
Horm Res 2006, 65(2): 11–16
20. Bachrach LK, Hastie T, Wang MC, Narasimhan B, Marcus R. Bone mineral acquisition in healthy Asian, Hispanic, black, and Caucasian youth: a longitudinal study
J Clin Endocrinol Metab 1999, 84(12): 4702–4712
21. Backhaus K. Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung
Springer-Lehrbuch, 13., überarb. Aufl., Berlin [u.a.], Springer, 2011
2. Bailey DA, McKay HA, Mirwald RL, Crocker PR, Faulkner RA. A six-year longitudinal study of the relationship of physical activity to bone mineral accrual in growing children: the university of Saskatchewan bone mineral accrual study
J Bone Miner Res 1999, 14(10): 1672–1679
23. Bailey DA, Martin AD, McKay HA, Whiting S, Mirwald R. Calcium accretion in girls and boys during puberty: a longitudinal analysis
J Bone Miner Res 2000, 15(11): 2245–2250
24. Bailey DA, Wedge JH, McCulloch RG, Martin AD, Bernhardtson SC. Epidemiology of fractures of the distal end of the radius in children as associated with growth
J Bone Joint Surg Am 1989, 71(8): 1225–1231
55. Baim S, Leonard MB, Bianchi M, Hans DB, Kalkwarf HJ, Langman CB, Rauch F. Official Positions of the International Society for Clinical Densitometry and Executive Summary of the 2007 ISCD Pediatric Position Development Conference
J Clin Densitom 2008, 11(1): 6–21
26. Balia S, Jones AM. Mortality, lifestyle and socio-economic status
J Health Econ 2008, 27(1): 1–26
27. Barkmann R, Glüer C. Quantitativer Ultraschall
Radiologe 2006, 46(10): 861–869
28. Barkmann R, Laugier P, Moser U, Dencks S, Padilla F, Haiat G, Heller M, Glüer C. A method for the estimation of femoral bone mineral density from variables of ultrasound transmission through the human femur
Bone 2007, 40(1): 37–44
29. Barkmann R, Rohrschneider W, Vierling M, Tröger J, De Terlizzi F, Cadossi R, Heller M, Glüer CC. German pediatric reference data for quantitative transverse transmission ultrasound of finger phalanges
Osteoporos Int 2002, 13(1): 55–61
30. Baroncelli GI. Quantitative ultrasound methods to assess bone mineral status in children: technical characteristics, performance, and clinical application
Pediatr Res 2008, 63(3): 220–228

31. Baroncelli GI, Federico G, Vignolo M, Valerio G, del Puente A, Maghnie M, Baserga M, Farello G, Saggese G. Cross-sectional reference data for phalangeal quantitative ultrasound from early childhood to young-adulthood according to gender, age, skeletal growth, and pubertal development
Bone 2006, 39(1): 159–173
32. Bartl R. Osteoporose. Prävention; Diagnostik; Therapie; 12 Tabellen, 4., vollst. überarb. und erw. Aufl., Stuttgart, New York, NY, Thieme, 2011
33. Bartl R, Gradinger R. Aktuelle Diagnostik und Therapie der Osteoporose auf der Basis der „European Guidance 2008“
Orthopäde 2009, 38(4): 365–380
34. Barzel US, Massey LK. Excess dietary protein can adversely affect bone
J Nutr 1998, 128(6): 1051–1053
35. Bass S, Pearce G, Bradney M, Hendrich E, Delmas PD, Harding A, Seeman E. Exercise before puberty may confer residual benefits in bone density in adulthood: studies in active prepubertal and retired female gymnasts
J Bone Miner Res 1998, 13(3): 500–507
36. Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. Bioelectrical impedance for body composition
Exerc Sport Sci Rev 1990, 18: 193–224
37. Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. Bioelectric impedance phase angle and body composition
Am J Clin Nutr 1988, 48(1): 16–23
38. Baxter-Jones AD, Kontulainen SA, Faulkner RA, Bailey DA. A longitudinal study of the relationship of physical activity to bone mineral accrual from adolescence to young adulthood
Bone 2008, 43(6): 1101–1107
39. Bayer M, Kutilek S. Ultrasound transmission through the Os calcis in children: which side should we measure?
Calcif Tissue Int 1997, 61(6): 441–442
40. Beasley JM, Ichikawa LE, Ange BA, Spangler L, LaCroix AZ, Ott SM, Scholes D. Is protein intake associated with bone mineral density in young women?
Am J Clin Nutr 2010, 91(5): 1311–1316
41. Bergman C, Gray-Scott D, Chen J, Meacham S. What is Next for the Dietary Reference Intakes for Bone Metabolism Related Nutrients Beyond Calcium: Phosphorus, Magnesium, Vitamin D, and Fluoride?
Critical Reviews in Food Science and Nutrition 2009, 49(2): 136–144
42. Bialo SR, Gordon CM. Underweight, Overweight, and Pediatric Bone Fragility: Impact and Management
Curr Osteoporos Rep 2014, 12: 319 – 328
43. Biesalski HK, Fürst P, Kasper H, Kluthe R, Pöler W, Puchstein C, Stählein HB (Hg.). Ernährungsmedizin. Nach dem Curriculum Ernährungsmedizin der Bundesärztekammer; 303 Tabellen, 3., erw. Aufl., Stuttgart [u.a.], Thieme, 2004
44. Binkley TL, Berry R, Specker BL. Methods for measurement of pediatric bone
Rev Endocr Metab Disord 2008, 9(2): 95–106
45. Blake GM, Fogelman I. Technical principles of dual energy x-ray absorptiometry
Semin Nucl Med 1997, 27(3): 210–228
46. Bland JM, Altman DG. Applying the right statistics: analyses of measurement studies
Ultrasound Obstet Gynecol 2003, 22(1): 85-93

47. Blimkie CJ, Rice S, Webber CE, Martin J, Levy D, Gordon CL. Effects of resistance training on bone mineral content and density in adolescent females
Can J Physiol Pharmacol 1996, 74(9): 1025–1033
48. Bolotin HH. DXA in vivo BMD methodology: an erroneous and misleading research and clinical gauge of bone mineral status, bone fragility, and bone remodelling
Bone 2007, 41(1): 138–154
49. Bonjour J. Dietary protein: an essential nutrient for bone health
J Am Coll Nutr 2005, 24(6 Suppl): 526S-36S
50. Bonjour J, Amman P, Chevalley T, Ferrari S, Rizzoli R. Nutritional aspects of bone growth: an overview, S. 111–127
In: S. Lanham-New und Jean-Philippe Bonjour (Hg.) Nutritional aspects of bone health. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, 2003
51. Bonjour JP, Carrie AL, Ferrari S, Clavien H, Slosman D, Theintz G, Rizzoli R. Calcium-enriched foods and bone mass growth in prepubertal girls: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial
J Clin Invest 1997, 99(6): 1287–1294
52. Bonjour JP, Chevalley T, Ammann P, Slosman D, Rizzoli R. Gain in bone mineral mass in prepubertal girls 3.5 years after discontinuation of calcium supplementation: a follow-up study
Lancet 2001, 358(9289): 1208–1212
53. Bonjour J, Chevalley T, Rizzoli R, Ferrari S. Gene-environment interactions in the skeletal response to nutrition and exercise during growth
Med Sport Sci 2007, 51: 64–80
54. Bonjour JP, Theintz G, Buchs B, Slosman D, Rizzoli R. Critical years and stages of puberty for spinal and femoral bone mass accumulation during adolescence
J Clin Endocrinol Metab 1991, 73(3): 555–563
55. Bonjour JP, Theintz G, Law F, Slosman D, Rizzoli R. Peak bone mass
Osteoporos Int 1994, 4 Suppl 1: 7–13
56. Booth ML, Okely AD, Chey TN, Bauman A. The reliability and validity of the Adolescent Physical Activity Recall Questionnaire
Med Sci Sports Exerc 2002, 34(12): 1986–1995
57. Borgström F, Zethraeus N, Johnell O, Lidgren L, Ponzer S, Svensson O, Abdon P, Ornstein E, Lunsjö K, Thorngren KG, Sernbo I, Rehnberg C, Jönsson B et al. Costs and quality of life associated with osteoporosis-related fractures in Sweden
Osteoporos Int 2006, 17(5):637–650
58. Bosy-Westphal A, Kromeyer-Hausschild K, Pirlich M, Schlattmann A, Scholz GH, Müller MJ. Körperzusammensetzung – Was kann man wie und mit welchem Wert in der Praxis messen?
Actuel Ernaehr Med 2006, 31: 189-195
59. Boyle WJ, Simonet WS, Lacey DL. Osteoclast differentiation and activation
Nature 2003, 423(6937): 337–342
60. Bradney M, Pearce G, Naughton G, Sullivan C, Bass S, Beck T, Carlson J, Seeman E. Moderate exercise during growth in prepubertal boys: changes in bone mass, size, volumetric density, and bone strength: a controlled prospective study
J Bone Miner Res 1998, 13(12): 1814–1821
61. Breen ME, Laing EM, Hall DB, Hausman DB, Taylor RG, Isaacs CM, Ding KH, Pollock NK, Hamrick MW, Baile CA, Lewis RD. 25-Hydroxyvitamin D, Insulin-Like Growth Factor-I, and Bone Mineral Accrual during Growth
J Clin Endocrinol Metab 2011, 96(1): E89

62. Brozek J, Grande F, Anderson JT, Keys A. Densiometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions
Ann N Y Acad Sci 1963, 110: 113–140
63. Brukx LJCE, Waelkens JJJ. Evaluation of the usefulness of a quantitative ultrasound device in screening of bone mineral density in children
Ann. Hum Biol 2003, 30(3): 304–315
64. Burckhardt P, Dawson-Hughes B, Weaver C (Hg.). Nutritional influences on bone health, Dordrecht, New York, Springer, 2010
65. Burrows M, Baxter-Jones A, Mirwald R, Macdonald H, McKay H. Bone Mineral Accrual Across Growth in a Mixed-Ethnic Group of Children: Are Asian Children Disadvantaged from an Early Age?
Calcif Tissue Int 2009, 84(5): 366–378
66. Buzzard IM, Stanton CA, Figueiredo M, Fries EA, Nicholson R, Hogan CJ, Danish SJ. Development and reproducibility of a brief food frequency questionnaire for assessing the fat, fiber, and fruit and vegetable intakes of rural adolescents
J Am Diet Assoc 2001, 101(12): 1438–1446
67. Cade J, Thompson R, Burley V, Warm D. Development, validation and utilisation of food-frequency questionnaires - a review
Public Health Nutr 2002, 5(4): 567–587
68. Cadogan J, Eastell R, Jones N, Barker ME. Milk intake and bone mineral acquisition in adolescent girls: randomised, controlled intervention trial
BMJ 1997, 315(7118): 1255–1260
69. Calvo MS, Kumar R, Heath H. Elevated secretion and action of serum parathyroid hormone in young adults consuming high phosphorus, low calcium diets assembled from common foods
J Clin Endocrinol Metab 1988, 66(4): 823–829
70. Calvo MS, Kumar R, Heath H. Persistently elevated parathyroid hormone secretion and action in young women after four weeks of ingesting high phosphorus, low calcium diets
J Clin Endocrinol Metab 1990, 70(5): 1334–1340
71. Cameron MA, Paton LM, Nowson CA, Margerison C, Frame M, Wark JD. The Effect of Calcium Supplementation on Bone Density in Premenarcheal Females: A Co-Twin Approach
J Clin Endocrinol Metab 2004, 89(10): 4916–4922
72. Campos RMS, Lazaretti-Castro M, Mello MT de, Tock L, Silva PL, Corgosinho FC, Carnier J, Piano A de, Sanches PL, Masquio DCL, Tufik S, Dâmaso AR. Influence of visceral and subcutaneous fat in bone mineral density of obese adolescents
Arq Bras Endocrinol Metabol 2012, 56(1): 12–18
73. Caroli A, Poli A, Ricotta D, Banfi G, Cocchi D. Invited review: Dairy intake and bone health: A viewpoint from the state of the art
Journal of Dairy Science 2011, 94(11): 5249–5262
74. Carskadon MA, Acebo C. A self-administered rating scale for pubertal development
J Adolesc Health 1993, 14(3): 190–195
75. Carter DR, Buxsein ML, Marcus R. New approaches for interpreting projected bone densitometry data
J Bone Miner Res 1992, 7(2): 137–145
76. Cashman KD, Hill TR, Cotter AA, Boreham CA, Dubitzky W, Murray L, Strain J, Flynn A, Robson PJ, Wallace JM, Kiely M. Low vitamin D status adversely affects bone health parameters in adolescents
Am J Clin Nutr 2008, 87(4): 1039–1044

77. Centers for Disease Control and Prevention. School Health Guidelines to Promote Healthy Eating and Physical Activity
MMWR 2011, 60(5): 1-77
78. Cepollaro C, Gonnelli S, Montagnani A, Caffarelli C, Cadori A, Martini S, Nuti R. In vivo performance evaluation of the Achilles Insight QUS device
J Clin Densitom 2005, 8(3): 341–346
79. Chaumoitre K, Lamtali S, Baali A, Saliba-Serre B, Lahmam A, Aboussad A, Boëtsch G, Panuel M. Influence of Socioeconomic Status and Body Mass Index on Bone Age
Horm Res Paediatr 2010, 74(2): 129–135
80. Chappard C, Camus E, Lefebvre F, Guillot G, Bittoun J, Berger G, Laugier P. Evaluation of error bounds on calcaneal speed of sound caused by surrounding soft tissue
J Clin Densitom 2000, 3(2): 121–131
81. Cheng S, Lyytikäinen A, Kröger H, Lamberg-Allardt C, Alén M, Koistinen A, Wang QJ, Suuriniemi M, Suominen H, Mahonen A, Nicholson PHF, Ivaska KK, Korpela R et al. Effects of calcium, dairy product, and vitamin D supplementation on bone mass accrual and body composition in 10-12-y-old girls: a 2-y randomized trial
Am J Clin Nutr 2005, 82(5): 1115–1126
82. Cheng S, Njeh CF, Fan B, Cheng X, Hans D, Wang L, Fuerst T, Genant HK. Influence of region of interest and bone size on calcaneal BMD: implications for the accuracy of quantitative ultrasound assessments at the calcaneus
Br J Radiol 2002, 75(889): 59–68
83. Cheng S, Tylavsky F, Kröger H, Kärkkäinen M, Lyytikäinen A, Koistinen A, Mahonen A, Alén M, Halleen J, Väänänen K, Lamberg-Allardt C. Association of low 25-hydroxyvitamin D concentrations with elevated parathyroid hormone concentrations and low cortical bone density in early pubertal and prepubertal Finnish girls
Am J Clin Nutr 2003, 78(3): 485–492
84. Chevalley T, Bonjour J, Ferrari S, Hans D, Rizzoli R. Skeletal Site Selectivity in the Effects of Calcium Supplementation on Areal Bone Mineral Density Gain: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial in Prepubertal Boys
J Clin Endocrinol Metab 2005, 90(6): 3342–3349
85. Clark EM, Ness AR, Bishop NJ, Tobias JH. Association Between Bone Mass and Fractures in Children: A Prospective Cohort Study
J Bone Miner Res 2006, 21(9): 1489–1495
86. Clark EM, Ness A, Tobias JH. Social position affects bone mass in childhood through opposing actions on height and weight
J Bone Miner Res 2005, 20(12): 2082–2089
87. Conrad A, Seiwert M, Hünken A, Quarcoo D, Schlaud M, Groneberg D. The German environment survey for children (GerES IV): reference values and distributions for time-location patterns of German children
Int J Hyg Environ Health 2013, 216: 25-34
88. Consensus Development Conference. Consensus development conference: prophylaxis and treatment of osteoporosis
Osteoporos Int 1991, 1(2):114–117
89. Consensus Development Conference. Consensus development conference: diagnosis, prophylaxis, and treatment of osteoporosis
Am. J. Med 1993, 94(6):646–650
90. Contoyannis P, Jones AM. Socio-economic status, health and lifestyle
J Health Econ 2004, 23(5): 965–995

91. Cooper C. Epidemiology of osteoporosis
Osteoporos Int 1999, 9(Suppl 2): S2-8
92. Cooper C, Atkinson EJ, Hensrud DD, Wahner HW, O'Fallon WM, Riggs BL, Melton LJ.
Dietary protein intake and bone mass in women
Calcif Tissue Int 1996, 58(5): 320–325
93. Cooper C, Harvey N, Javaid K, Hanson M, Dennison E. Growth and bone development
Nestle Nutr Workshop Ser Pediatr Program 2008, 61: 53–68
94. Cooper C, Westlake S, Harvey N, Javaid K, Dennison E, Hanson M. Review:
developmental origins of osteoporotic fracture
Osteoporos Int 2006, 17(3): 337–347
95. Corder K, van Sluijs EMF, Wright A, Whincup P, Wareham NJ, Ekelund U. Is it possible
to assess free-living physical activity and energy expenditure in young people by self-report?
Am J Clin Nutr 2009, 89(3): 862–870
96. Cortet B, Boutry N, Dubois P, Legroux-Gérot I, Cotten A, Marchandise X. Does
quantitative ultrasound of bone reflect more bone mineral density than bone
microarchitecture?
Calcif Tissue Int 2004, 74(1): 60–67
97. Courteix D, Jaffré C, Lespessailles E, Benhamou L. Cumulative Effects of Calcium
Supplementation and Physical Activity on Bone Accretion in Premenarchal Children: A
Double-Blind Randomised Placebo-Controlled Trial
Int J Sports Med 2005, 26(5): 332–338
98. Courteix D, Rieth N, Thomas T, van Praagh E, Benhamou C, Collomp K, Lespessailles
E, Jaffré C. Preserved Bone Health in Adolescent Elite Rhythmic Gymnasts despite
Hypoleptinemia
Horm Res 2007, 68(1): 20–27
99. Crabtree N, Kibirige M, Fordham J, Banks L, Muntoni F, Chinn D, Boivin C, Shaw N. The
relationship between lean body mass and bone mineral content in paediatric health and
disease
Bone 2004, 35(4): 965–972
100. Crabtree N, Ward K. Bone densitometry: current status and future perspectives
Endocr Dev 2009, 16: 58–72
101. Crocker PR, Bailey DA, Faulkner RA, Kowalski KC, McGrath R. Measuring general
levels of physical activity: preliminary evidence for the Physical Activity Questionnaire for
Older Children
Med Sci Sports Exerc 1997, 29(10): 1344–1349
102. Cromer BA. Effects of hormonal contraceptives on bone mineral density
Drug Saf 1999, 20(3): 213–222
103. Cromer B, Harel Z. Adolescents: At Increased Risk for Osteoporosis?
Clinical Pediatrics 2000, 39(10): 565–574
104. Csakvary V, Erhardt E, Vargha P, Oroszlan G, Bodecs T, Torok D, Toldy E, Kovacs GL.
Association of Lean and Fat Body Mass, Bone Biomarkers and Gonadal Steroids with Bone
Mass during Pre- and Midpuberty
Horm Res Paediatr 2012, 78(4): 203–211
105. Cummings SR, Bates D, Black DM. Clinical use of bone densitometry: scientific review
JAMA 2002, 288(15): 1889–1897
106. Cvijetić S, Barić IC, Bolanča S, Jureša V, Ožegović DD. Ultrasound bone measurement
in children and adolescents
Journal of Clinical Epidemiology 2003, 56(6): 591–597

107. Damilakis J, Maris TG, Karantanas AH. An update on the assessment of osteoporosis using radiologic techniques
Eur Radiol 2007a, 17(6): 1591–1602
108. Damilakis J, Papadokostakis G, Perisinakis K, Maris TG, Karantanas AH. Hip fracture discrimination by the Achilles Insight QUS imaging device
European Journal of Radiology 2007b, 63(1): 59–62
109. Daly RM, Rich PA, Klein R. Influence of high impact loading on ultrasound bone measurements in children: a cross-sectional report
Calcif Tissue Int 1997, 60(5): 401–404
110. Data-Input GmbH. Gebrauchsanleitung Jubiläumssonderserie BIA 2000 - S Bioelectrical Impedance Analyser. Data-Input GmbH, o. J.
111. Davies JH, Evans BAJ, Gregory JW. Bone mass acquisition in healthy children
Arch Dis Child 2005, 90, 373–378
112. Dawson-Hughes B. Osteoporosis: 1339–1352
In: Maurice E. Shils und Moshe Shike (Hg.) Modern nutrition in health and disease. 10. Aufl., Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2006
113. Dawson-Hughes B, Harris SS. Calcium intake influences the association of protein intake with rates of bone loss in elderly men and women
Am J Clin Nutr 2002, 75(4): 773–779
114. Dawson-Hughes B, Shipp C, Sadowski L, Dallal G. Bone density of the radius, spine, and hip in relation to percent of ideal body weight in postmenopausal women
Calcif Tissue Int 1987, 40(6): 310–314
115. de Carvalho WRG, Gonçalves EM, Ribeiro RR, Farias ES, Carvalho SSP, de Guerra-Júnior G. Influence of body composition on bone mass in children and adolescents
Rev Assoc Med Bras 2011, 57(6): 662–667
116. de Schepper J, van den Broeck M, Jonckheer MH. Study of lumbar spine bone mineral density in obese children
Acta Paediatr 1995, 84(3): 313–315
117. Deurenberg P, van der Kooy K, Leenen R, Weststrate JA, Seidell JC. Sex and age specific prediction formulas for estimating body composition from bioelectrical impedance: a cross-validation study
Int J Obes 1991, 15(1): 17–25
118. Deurenberg P, Kusters CS, Smit HE. Assessment of body composition by bioelectrical impedance in children and young adults is strongly age-dependent
Eur J Clin Nutr 1990, 44(4): 261–268
119. DGE. DACH-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr, 1. Aufl., 2. korrigierter Nachdruck, Frankfurt am Main, Umschau/Braus, 2001
120. DGE. Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Calcium, 1. Aufl., 5. überarb. Nachdr., Neustadt an der Weinstraße, Neuer Umschau Buchverlag, 2013a
<http://www.dge.de/pdf/ws/Referenzwerte-2013-Calcium.pdf> (Abruf: 02.11.2014)
121. DGE. Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Vitamin D, 1. Aufl., 5. überarb. Nachdr., Neustadt an der Weinstraße, Neuer Umschau Buchverlag, 2013b
<http://www.dge.de/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=4&page=12> (Abruf: 02.11.2014)
122. DGE. Vollwertig essen und trinken nach den 10 Regeln der DGE.
AID 1016, 25., überarb, Bonn, AID, 2013c

123. Dib L, Arabi A, Maalouf J, Nabulsi M, El-Hajj Fuleihan G. Impact of anthropometric, lifestyle, and body composition variables on ultrasound measurements in school children
Bone 2005, 36(4): 736–742
124. Dibba B, Prentice A, Ceesay M, Mendy M, Darboe S, Stirling DM, Cole TJ, Poskitt EME. Bone mineral contents and plasma osteocalcin concentrations of Gambian children 12 and 24 mo after the withdrawal of a calcium supplement
Am J Clin Nutr 2002, 76(3): 681–686
125. Diffey BL. An overview analysis of the time people spend outdoors
Br J Dermatol. 2011, 164: 848-854
126. Dippelhofer A, Bergmann KE, Kahl H, Lange M. Die körperliche Untersuchung im Rahmen des Kinder- und Jugendgesundheitssurveys
Gesundheitswesen 2002, 64 Suppl 1: S12-16
127. Dodiuk-Gad RP, Rozen GS, Rennert G, Rennert HS, Ish-Shalom S. Sustained effect of short-term calcium supplementation on bone mass in adolescent girls with low calcium intake
Am J Clin Nutr 2005, 81(1): 168–174
128. Data Input. Das B.I.A.-Kompendium, 3. Ausgabe. Hg. v. Data-Input GmbH. Data Input GmbH, Darmstadt, 2007
http://www.data-input.de/media/pdf-deutsch/Kompendium_III_Ausgabe_2009.pdf (Abruf: 28.10.2014)
129. Downey PA, Siegel MI. Bone biology and the clinical implications for osteoporosis
Phys Ther 2006, 86(1): 77–91
130. Dretakis E, Damilakis J, Kontakis G, Gourtsoyiannis N. Variation between os calces as measured by broadband ultrasound attenuation
Br J Radiol 1994, 67(799): 636–638
131. Drysdale IP, Hinkley HJ, Walters NJ, Shale ML, Bird D. Bilateral variation in calcaneal broadband ultrasound attenuation: part I
J Clin Densitom 2001a, 4(1): 37–42
132. Drysdale IP, Hinkley HJ, Shale M, Bird D, Walters NJ. Bilateral variation in calcaneal broadband ultrasound attenuation. Part II: as measured by three bone densitometers employing ultrasound or X-ray
J Clin Densitom 2001b, 4(4): 337–341
133. Du X, Zhu K, Trube A, Zhang Q, Ma G, Hu X, Fraser DR, Greenfield H. School-milk intervention trial enhances growth and bone mineral accretion in Chinese girls aged 10-12 years in Beijing
Br. J Nutr 2004, 92(1): 159–168
134. Duff TL, Whiting SJ. Calciuric effects of short-term dietary loading of protein, sodium chloride and potassium citrate in prepubescent girls
J Am Coll Nutr 1998, 17(2): 148–154
135. DVO (Dachverband Osteologie e. V.). DVO-Leitlinie 2009 zur Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei Erwachsenen. Langfassung
Osteologie 2009, 18: 304–328
136. Dwyer GM, Hardy LL, Peat JK, Baur LA. The validity and reliability of a home environment preschool-age physical activity questionnaire (Pre-PAQ)
Int J Behav Nutr Phys Act 2011, 8: 86
137. Edelstein SL, Barrett-Connor E. Relation between body size and bone mineral density in elderly men and women
Am. J. Epidemiol 1993, 138(3): 160–169

138. Eleftheriou KI, Rawal JS, James LE, Payne JR, Loosemore M, Pennell DJ, World M, Drenos F, Haddad FS, Humphries SE, Sanders J, Montgomery HE. Bone structure and geometry in young men: The influence of smoking, alcohol intake and physical activity *Bone* 2013, 52(1): 17–26
139. El Hage R, El Hage Z, Jacob C, Moussa E, Theunynck D, Baddoura R. Bone mineral content and density in overweight and control adolescent boys *J Clin Densitom* 2011, 14(2): 122–128
140. El Hage R, Jacob C, Moussa E, Groussard C, Pineau J, Benhamou C, Jaffré C. Influence of the weight status on bone mineral content and bone mineral density in a group of Lebanese adolescent girls *Joint Bone Spine* 2009a, 76(6): 680–684
141. El Hage R, Jacob C, Moussa E, Benhamou C, Jaffré C. Total body, lumbar spine and hip bone mineral density in overweight adolescent girls: decreased or increased? *J Bone Miner Metab* 2009b, 27(5): 629–633
142. El-Hajj Fuleihan G, Nabulsi M, Choucair M, Salamoun M, Hajj Shahine C, Kizirian A, Tannous R. Hypovitaminosis D in healthy schoolchildren *Pediatrics* 2001, 107(4): E53
143. El-Hajj Fuleihan G, Nabulsi M, Tamim H, Maalouf J, Salamoun M, Khalife H, Choucair M, Arabi A, Vieth R. Effect of Vitamin D Replacement on Musculoskeletal Parameters in School Children: A Randomized Controlled Trial *J Clin Endocrinol Metab* 2006, 91(2): 405–412
144. Elia M. Body composition analysis: an evaluation of 2 component models, multicomponent models and bedside techniques *Clin Nutr* 1992, 11(3): 114–127
145. Eliakim A, Nemet D, Wolach B. Quantitative ultrasound measurements of bone strength in obese children and adolescents *J Pediatr. Endocrinol. Metab* 2001, 14(2): 159–164
146. Ellis KJ, Shypailo RJ, Wong WW, Abrams SA. Bone mineral mass in overweight and obese children: diminished or enhanced? *Acta Diabetol* 2003, 40 Suppl 1: S274-7
147. Elmadfa I. *Ernährungslehre*. 2., überarb. Aufl., Stuttgart, UTB 2509, Ulmer, 2009
148. Eriksen EF. Cellular mechanisms of bone remodeling *Rev Endocr Metab Disord* 2010, 11(4): 219–227
149. Esterle L, Sabatier J, Guillon-Metz F, Walrant-Debray O, Guaydier-Souquières G, Jehan F, Garabédian M. Milk, rather than other foods, is associated with vertebral bone mass and circulating IGF-1 in female adolescents *Osteoporos Int* 2009, 20(4): 567–575
150. Falcini F, Bindi G, Ermini M, Galluzzi F, Poggi G, Rossi S, Masi L, Cimaz R, Brandi ML. Comparison of quantitative calcaneal ultrasound and dual energy X-ray absorptiometry in the evaluation of osteoporotic risk in children with chronic rheumatic diseases *Calcif Tissue Int* 2000, 67(1): 19–23
151. Falgarone G, Porcher R, Duché A, Kolta S, Dougados M, Roux C. Discrimination of osteoporotic patients with quantitative ultrasound using imaging or non-imaging device *Joint Bone Spine* 2004, 71(5): 419–423
152. Falk B, Braid S, Moore M, O'Leary D, Sullivan P, Klentrou P. Bone properties in overweight pre- and early-pubertal boys *Pediatr Exerc Sci* 2008, 20(1): 50–61

153. Fares JE, Choucair M, Nabulsi M, Salamoun M, Shahine CH, Fuleihan GE. Effect of gender, puberty, and vitamin D status on biochemical markers of bone remodeling
Bone 2003, 33(2): 242–247
154. Farr JN, Chen Z, Lisse JR, Lohman TG, Going SB. Relationship of total body fat mass to weight-bearing bone volumetric density, geometry, and strength in young girls
Bone 2010, 46(4): 977–984
155. Faulkner KG. The tale of the T-score: review and perspective
Osteoporos Int 2005, 16(4): 347–352
156. Faulkner RA, Bailey DA. Osteoporosis: a pediatric concern?
Med Sport Sci 2007, 51: 1–12
157. Fenton TR, Tough SC, Lyon AW, Eliasziw M, Hanley DA. Causal assessment of dietary acid load and bone disease: a systematic review & meta-analysis applying Hill's epidemiologic criteria for causality
Nutr J 2011, 10: 41
158. Fenton TR, Lyon AW, Eliasziw M, Tough SC, Hanley DA. Phosphate decreases urine calcium and increases calcium balance: A meta-analysis of the osteoporosis acid-ash diet hypothesis
Nutr J 2009, 8(1): 41
159. Ferrari SL, Chevalley T, Bonjour J, Rizzoli R. Childhood Fractures Are Associated With Decreased Bone Mass Gain During Puberty: An Early Marker of Persistent Bone Fragility?
J Bone Miner Res 2006, 21(4): 501–507
160. Feskanich D, Willett WC, Stampfer MJ, Colditz GA. Protein consumption and bone fractures in women
Am. J. Epidemiol 1996, 143(5): 472–479
161. Fielding KT, Nix DA, Bachrach LK. Comparison of calcaneus ultrasound and dual X-ray absorptiometry in children at risk of osteopenia
J Clin Densitom 2003, 6(1): 7–15
162. Fine LJ, Philogene GS, Gramling R, Coups EJ, Sinha S. Prevalence of multiple chronic disease risk factors. 2001 National Health Interview Survey
Am J Prev Med 2004, 27(2 Suppl): 18–24
163. Fintini D, Brufani C, Grossi A, Ubertini G, Fiori R, Pecorelli L, Calzolari A, Cappa M. Gender differences in bone mineral density in obese children during pubertal development
J. Endocrinol. Invest 2011, 34(4): e86-91
164. Fischer H, Lembcke B. Die Anwendung der bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) zur Beurteilung der Körperzusammensetzung und des Ernährungszustandes
Inn. Med 1991, 18: 13–17
165. FKE, 2008. Empfehlungen für die Ernährung von Kindern und Jugendlichen. Die Optimierte Mischkost optimiX®, 2. überarb. Aufl., Hg. v. Forschungsinstitut für Kinderernährung Dortmund. Forschungsinstitut für Kinderernährung Dortmund, Dortmund
166. Forbes GB. Human Body Composition. Growth, Aging, Nutrition, and Activity, New York, NY, Springer New York, 1987
167. Forwood MR, Baxter-Jones AD, Beck TJ, Mirwald RL, Howard A, Bailey DA. Physical activity and strength of the femoral neck during the adolescent growth spurt: A longitudinal analysis
Bone 2006, 38(4): 576–583
168. Fournier PE, Rizzoli R, Slosman DO, Theintz G, Bonjour JP. Asynchrony between the rates of standing height gain and bone mass accumulation during puberty
Osteoporos Int 1997, 7(6): 525–532

169. Fricke O, Land C, Semler O, Tuttlewski B, Stabrey A, Remer T, Schoenau E. Subcutaneous Fat and Body Fat Mass Have Different Effects on Bone Development at the Forearm in Children and Adolescents
Calcif Tissue Int 2008a, 82(6): 436–444
170. Fricke O, Sumnik Z, Tuttlewski B, Stabrey A, Remer T, Schoenau E. Local Body Composition Is Associated with Gender Differences of Bone Development at the Forearm in Puberty
Horm Res 2008b, 70(2): 105–111
171. Fricke O, Tuttlewski B, Schwahn B, Schoenau E. Speed of sound: relation to geometric characteristics of bone in children, adolescents, and adults
J Pediatr 2005, 146(6): 764–768
172. Frost HM. Bone "mass" and the "mechanostat": a proposal
Anat. Rec 1987, 219(1): 1–9
173. Frost HM. Perspectives: on a "paradigm shift" developing in skeletal science
Calcif Tissue Int 1995, 56(1): 1–4
174. Frost ML, Blake GM, Fogelman I. Does quantitative ultrasound imaging enhance precision and discrimination?
Osteoporos Int 2000, 11(5): 425–433
175. Fuchs J, Rabenberg M, Scheidt-Nave C. Prävalenz ausgewählter muskuloskelettaler Erkrankungen
Bundesgesundheitsbl 2013, 56(5-6):678–686
176. Gafni RI, Baron J. Childhood Bone Mass Acquisition and Peak Bone Mass May Not Be Important Determinants of Bone Mass in Late Adulthood
PEDIATRICS 2007, 119(Supplement): S131
177. Gerdhem P, Obrant KJ. Effects of cigarette-smoking on bone mass as assessed by dual-energy X-ray absorptiometry and ultrasound
Osteoporos Int 2002, 13(12): 932–936
178. Gilsanz V, Chalfant J, Mo AO, Lee DC, Dorey FJ, Mittelman SD. Reciprocal Relations of Subcutaneous and Visceral Fat to Bone Structure and Strength
J Clin Endocrinol Metab 2009, 94(9): 3387–3393
179. Ginty F, Cavadini C, Michaud P, Burckhardt P, Baumgartner M, Mishra G, Barclay DV. Effects of usual nutrient intake and vitamin D status on markers of bone turnover in Swiss adolescents
Eur J Clin Nutr 2004, 58(9): 1257–1265
180. Glauber HS, Vollmer WM, Nevitt MC, Ensrud KE, Orwoll ES. Body weight versus body fat distribution, adiposity, and frame size as predictors of bone density
J Clin Endocrinol Metab 1995, 80(4): 1118–1123
181. Glüer CC, Barkmann R, Heller M. Quantitativer Ultraschall. Status 1999
Radiologe 1999, 39(3): 213–221
182. Glüer CC, Blake G, Lu Y, Blunt BA, Jergas M, Genant HK. Accurate assessment of precision errors: how to measure the reproducibility of bone densitometry techniques
Osteoporos Int 1995, 5(4): 262–270
183. Gonnelli S, Cepollaro C. The use of ultrasound in the assessment of bone status
J Endocrinol Invest 2002, 25(4): 389–397
184. Goran MI, Kaskoun MC, Carpenter WH, Poehlman ET, Ravussin E, Fontvieille AM. Estimating body composition of young children by using bioelectrical resistance
J Appl Physiol 1993, 75(4): 1776–1780

185. Gordon CM, Bachrach LK, Carpenter TO, Crabtree N, El-Hajj Fuleihan G, Kutilek S, Lorenc RS, Tosi LL, Ward KA, Ward LM, Kalkwarf HJ. Dual energy X-ray absorptiometry interpretation and reporting in children and adolescents: the 2007 ISCD Pediatric Official Positions
J Clin Densitom 2008, 11(1): 43–58
186. Gordon CL, Webber CE. Body composition and bone mineral distribution during growth in females
Can Assoc Radiol J 1993, 44(2): 112–116
187. Goulding A, Jones IE, Taylor RW, Williams SM, Manning PJ. Bone mineral density and body composition in boys with distal forearm fractures: a dual-energy x-ray absorptiometry study
J Pediatr 2001, 139(4): 509–515
188. Goulding A, Taylor RW, Jones IE, McAuley KA, Manning PJ, Williams SM. Overweight and obese children have low bone mass and area for their weight
Int J Obes Relat Metab Disord 2000, 24(5): 627–632
189. Goulding A, Taylor RW, Jones IE, Manning PJ, Williams SM. Spinal overload: a concern for obese children and adolescents?
Osteoporos Int 2002, 13(10): 835–840
190. Grabowski P. Physiology of bone
Endocr Dev 2009, 16: 32–48
191. Gracia-Marco L, Ortega FB, Jiménez-Pavón D, Rodríguez G, Castillo MJ, Vicente-Rodríguez G, Moreno LA. Adiposity and bone health in Spanish adolescents. The HELENA study
Osteoporos Int 2012b, 23(3): 937–947
192. Gracia-Marco L, Ortega FB, Casajús JA, Sioen I, Widhalm K, Béghin L, Vicente-Rodríguez G, Moreno LA. Socioeconomic status and bone mass in Spanish adolescents. The HELENA Study
J Adolesc Health 2012a, 50(5): 484–490
193. Greene DA, Naughton GA. Calcium and vitamin-D supplementation on bone structural properties in peripubertal female identical twins: a randomised controlled trial
Osteoporos Int 2011, 22(2): 489–498
194. Greenspan SL, Bouxsein ML, Melton ME, Kolodny AH, Clair JH, Delucca PT, Stek M, Faulkner KG, Orwoll ES. Precision and discriminatory ability of calcaneal bone assessment technologies
J Bone Miner Res 1997, 12(8): 1303–1313
195. Grouven U, Bender R, Ziegler A, Lange S. Vergleich von Messmethoden – Artikel Nr. 24 der Statistik-Serie in der DMW
Dtsch Med Wochenschr 2007, 132: e69–e73
196. Grumbach MM. Estrogen, bone, growth and sex: a sea change in conventional wisdom
J Pediatr Endocrinol Metab 2000, 13 Suppl 6: 1439–1455
197. Guglielmi G, Schneider P, Lang TF, Giannatempo GM, Cammisa M, Genant HK. Quantitative computed tomography at the axial and peripheral skeleton
Eur Radiol 1997, 7 Suppl 2: S32–42
198. Guglielmi G, Lang TF. Quantitative computed tomography
Semin Musculoskelet Radiol 2002, 6(3): 219–227
199. Haapasalo H, Kannus P, Sievänen H, Pasanen M, Uusi-Rasi K, Heinonen A, Oja P, Vuori I. Effect of long-term unilateral activity on bone mineral density of female junior tennis players
J Bone Miner Res 1998, 13(2): 310–319

200. Hadji P, Kalder M, Meyer-Wittkopf M, Gottschalk M, Münstedt K, Hars O, Schulz KD. Quantitative Ultrasonometrie (QUS) am Os calcaneus bei Frauen. Erstellung eines deutschen Referenzkollektives
Geburtsh Frauenheilk 2001a, 61: 70–74
201. Hadji P, Bock K, Wüster C, Emons G, Gottschalk M, Schulz K. Osteodensitometrie: Quo vadis? Möglichkeiten und Grenzen der modernen Osteoporosediagnostik
Reproduktionsmedizin 2001b, 17(5): 261-270
202. Hadjidakis DJ, Androulakis II. Bone Remodeling
Annals of the New York Academy of Sciences 2006, 1092(1): 385–396
203. Halaba Z, Pluskiewicz W. The assessment of development of bone mass in children by quantitative ultrasound through the proximal phalanxes of the hand
Ultrasound Med Biol 1997, 23(9): 1331–1335
204. Halaba ZP, Pluskiewicz W. Quantitative ultrasound in the assessment of skeletal status in children and adolescents
Ultrasound Med Biol 2004, 30(2): 239–243
205. Hannan MT, Tucker KL, Dawson-Hughes B, Cupples LA, Felson DT, Kiel DP. Effect of dietary protein on bone loss in elderly men and women: the Framingham Osteoporosis Study
J Bone Miner Res 2000, 15(12): 2504–2512
206. Hans D, Fuerst T, Duboeuf F. Quantitative ultrasound bone measurement
Eur Radiol 1997, 7 Suppl 2: S43-50
207. Hans D, Schott AM, Arlot ME, Sornay E, Delmas PD, Meunier PJ. Influence of anthropometric parameters on ultrasound measurements of Os calcis
Osteoporos Int 1995, 5(5): 371–376
208. Harada S, Rodan GA. Control of osteoblast function and regulation of bone mass
Nature 2003, 423(6937): 349–355
209. Harel Z, Gold M, Cromer B, Bruner A, Stager M, Bachrach L, Wolter K, Reid C, Hertweck P, Nelson A, Nelson D, Coupey S, Johnson C et al. Bone Mineral Density in Postmenarcheal Adolescent Girls in the United States: Associated Biopsychosocial Variables and Bone Turnover Markers
J Adolesc Health 2007, 40(1): 44–53
210. Hartl F, Tyndall A, Kraenzlin M, Bachmeier C, Gückel C, Senn U, Hans D, Theiler R. Discriminatory ability of quantitative ultrasound parameters and bone mineral density in a population-based sample of postmenopausal women with vertebral fractures: results of the Basel Osteoporosis Study
J Bone Miner Res 2002, 17(2): 321–330
211. Hartung J, Elpelt B, Klösener K. Statistik. Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik; mit zahlreichen, vollständig durchgerechneten Beispielen, 14., unwesentlich veränd. Aufl., München, Wien, Oldenbourg, 2005
212. Haschke F. Body composition of adolescent males. Part I. Total body water in normal adolescent males. Part II. Body composition of the male reference adolescent
Acta Paediatr Scand Suppl 1983, 307: 1–23
213. Haschke F, Fomon SJ, Ziegler EE. Body composition of a nine-year-old reference boy
Pediatr Res 1981, 15(5): 847–849
214. Hasserijs R, Karlsson M, Jónsson B, Redlund-Johnell I, Johnell O. Long-Term Morbidity and Mortality After a Clinically Diagnosed Vertebral Fracture in the Elderly—a 12- and 22-Year Follow-up of 257 Patients
Calcif Tissue Int 2005, 76(4):235–242

215. Häusler KD, Rich PA, Barry EB. Water bath and contact methods in ultrasonic evaluation of bone
Calcif Tissue Int 1997, 61(1): 26–29
216. Häussler B, Gothe H, Göl D, Glaeske G, Pientka L, Felsenberg D. Epidemiology, treatment and costs of osteoporosis in Germany—the BoneEVA Study
Osteoporos Int 2007, 18(1):77–84
217. Hawker GA, Jamal SA, Ridout R, Chase C. A clinical prediction rule to identify premenopausal women with low bone mass
Osteoporos Int 2002, 13(5): 400–406
218. Heaney RP, Abrams S, Dawson-Hughes B, Looker A, Marcus R, Matkovic V, Weaver C. Peak bone mass
Osteoporos Int 2000, 11(12): 985–1009
219. Heaney RP. Bone biology in health and disease, S. 1314–1325
In: Maurice E. Shils und Moshe Shike (Hg.) Modern nutrition in health and disease. 10. Aufl., Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2006
220. Heaney RP, Layman DK. Amount and type of protein influences bone health
Am J Clin Nutr 2008, 87(5): 1567S-1570S
221. Heinonen A, Sievänen H, Kannus P, Oja P, Pasanen M, Vuori I. High-impact exercise and bones of growing girls: a 9-month controlled trial
Osteoporos Int 2000, 11(12): 1010–1017
222. Hernlund E, Svedbom A, Ivergård M, Compston J, Cooper C, Stenmark J, McCloskey EV, Jönsson B, Kanis JA. Osteoporosis in the European Union: medical management, epidemiology and economic burden
Arch Osteoporos 2013, 8(1-2):136
223. Herrmann M, Seibel MJ. The effects of hormonal contraceptives on bone turnover markers and bone health
Clinical Endocrinology 2010, 72(5): 571–583
224. Heymsfield SB, Waki M. Body composition in humans: advances in the development of multicompartiment chemical models
Nutr. Rev 1991, 49(4): 97–108
225. Heymsfield SB, Lohman TG, Wang Z, Going SB (Hg.). Human body composition, 2. Ed., Champaign, IL, Human Kinetics, 2005
226. Hills AP, Lyell L, Byrne NM. An evaluation of the methodology for the assessment of body composition in children and adolescents, S. 1–13
In: T. Jürimäe und Andrew P. Hills (Hg.) Body composition assessment in children and adolescents, (Medicine and sport science, 44), Basel, New York, Karger, 2001
227. Hirota T, Kusu T, Hirota K. Improvement of nutrition stimulates bone mineral gain in Japanese school children and adolescents
Osteoporos Int 2005, 16(9): 1057–1064
228. Hoffer EC, Meador CK, Simpson DC. Correlation of whole-body impedance with total body water volume
J Appl Physiol 1969, 27(4): 531–534
229. Hoffmann K, Schulze MB, Schienkiewitz A, Nöthlings U, Boeing H. Application of a New Statistical Method to Derive Dietary Patterns in Nutritional Epidemiology
American Journal of Epidemiology 2004a, 159(10): 935–944
230. Hoffmann W, Terschüren C, Holle R, Kamtsiuris P, Bergmann M, Kroke A, Sauer S, Stang A, Latza U. Zum Problem der Responserate in epidemiologischen Studien in Deutschland (Teil II)
Gesundheitswesn 2004b, 66: 482-491

231. Höglér W, Briody J, Woodhead H, Chan A, Cowell C. Importance of lean mass in the interpretation of total body densitometry in children and adolescents
The Journal of Pediatrics 2003, 143(1): 81–88
232. Holecki M, Wiecek A. Relationship between body fat mass and bone metabolism
Pol. Arch. Med. Wewn 2010, 120(9): 361–367
233. Holick MF, Dawson-Hughes B (Hg.). Nutrition and bone health, (Nutrition and health), Totowa, N.J., Humana Press, 2004
234. Holmes BL, Ludwa IA, Gammage KL, Mack DE, Klentrou P. Relative importance of body composition, osteoporosis-related behaviors, and parental income on bone speed of sound in adolescent females
Osteoporos Int 2010, 21(11): 1953–1957
235. Holroyd C, Harvey N, Dennison E, Cooper C. Epigenetic influences in the developmental origins of osteoporosis
Osteoporos Int 2012, 23(2): 401–410
236. Horlick M, Arpadi SM, Bethel J, Wang J, Moye J, Cuff P, Pierson RN, Kotler D. Bioelectrical impedance analysis models for prediction of total body water and fat-free mass in healthy and HIV-infected children and adolescents
Am J Clin Nutr 2002, 76(5): 991–999
237. Høstmark AT, Sjøgaard AJ, Alvær K, Meyer HE. The Oslo Health Study: A Dietary Index Estimating Frequent Intake of Soft Drinks and Rare Intake of Fruit and Vegetables Is Negatively Associated with Bone Mineral Density
Journal of Osteoporosis 2011, 2011(1-2): 1–7
238. Houtkooper LB, Lohman TG, Going SB, Howell WH. Why bioelectrical impedance analysis should be used for estimating adiposity
Am J Clin Nutr 1996, 64(3 Suppl): 436S-448S
239. Howard GM, Nguyen TV, Pocock NA, Kelly PJ, Eisman JA. Influence of handedness on calcaneal ultrasound: implications for assessment of osteoporosis and study design
Osteoporos Int 1997, 7(3): 190–194
240. Huch R, Jürgens KD (Hg.). Mensch Körper Krankheit. 6. Aufl., München, Urban & Fischer in Elsevier, 2011
241. Huth PJ, DiRienzo DB, Miller GD. Major Scientific Advances with Dairy Foods in Nutrition and Health
J. Dairy Sci. 2006, 89: 1207–1221
242. Ibiebele TI, Parekh S, Mallitt K, Hughes MC, O'Rourke PK, Webb PM. Reproducibility of food and nutrient intake estimates using a semi-quantitative FFQ in Australian adults
Public Health Nutr 2009, 12(12): 2359
243. Ismail AA, Cooper C, Felsenberg D, Varlow J, Kanis JA, Silman AJ, O'Neill TW. Number and type of vertebral deformities: epidemiological characteristics and relation to back pain and height loss. European Vertebral Osteoporosis Study Group
Osteoporos Int 1999, 9(3):206–213
244. Itoh R, Nishiyama N, Suyama Y. Dietary protein intake and urinary excretion of calcium: a cross-sectional study in a healthy Japanese population
Am J Clin Nutr 1998, 67(3): 438–444
245. Iuliano-Burns S, Saxon L, Naughton G, Gibbons K, Bass SL. Regional specificity of exercise and calcium during skeletal growth in girls: a randomized controlled trial
J Bone Miner Res 2003, 18(1): 156–162

246. Ivuskans A, Lätt E, Mäestu J, Saar M, Purge P, Maasalu K, Jürimäe T, Jürimäe J. Bone mineral density in 11–13-year-old boys: relative importance of the weight status and body composition factors
Rheumatol Int 2013, 33(7): 1681–1687
247. Janssen I, Leblanc AG. Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth
Int J Behav Nutr Phys Act 2010, 7: 40
248. Jaworski M, Lebedowski M, Lorenc RS, Trempe J. Ultrasound bone measurement in pediatric subjects
Calcif Tissue Int 1995, 56(5): 368–371
249. Jerosch J, Bader A, Uhr G. Knochen. Curasan Taschenatlas spezial, Stuttgart, Thieme, 2002
250. Jilka RL. Biology of the basic multicellular unit and the pathophysiology of osteoporosis
Med Pediatr Oncol 2003, 41(3): 182–185
251. Jin N, Lin S, Zhang Y, Chen F. Assess the discrimination of Achilles InSight calcaneus quantitative ultrasound device for osteoporosis in Chinese women: compared with dual energy X-ray absorptiometry measurements
Eur J Radiol 2010, 76(2): 265–268
252. Jöckel K-H, Babitsch B, Bellach B-M, Bloomfield K, Hoffmeyer-Zlotnik J, Winkler J, Wolf C. Messung und Quantifizierung soziographischer Merkmale in epidemiologischen Studien. Empfehlungen der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Epidemiologie (DAE)..., o. J.
http://www.gmds.de/publikationen/11_MessungUndQuantifizierungSoziodemographischerMerkmale_pdf2.pdf (Abruf: 01.11.2014)
253. Johnell O, Kanis JA, Odén A, Sernbo I, Redlund-Johnell I, Petterson C, De Laet C, Jönsson B. Mortality after osteoporotic fractures
Osteoporos Int 2004, 15(1): 38–42
254. Johnell O, Kanis J. Epidemiology of osteoporotic fractures
Osteoporos Int 2005, 16(S2): S3-S7
255. Johnston CC, Miller JZ, Slemenda CW, Reister TK, Hui S, Christian JC, Peacock M. Calcium supplementation and increases in bone mineral density in children
N. Engl. J. Med 1992, 327(2): 82–87
256. Jürimäe T, Hills AP (Hg.). Body composition assessment in children and adolescents, (Medicine and sport science, 44) Basel, New York, Karger, 2001
257. Kahl H, Schaffrath Rosario A, Schlaud M. Sexuelle Reifung von Kindern und Jugendlichen in Deutschland
Bundesgesundheitsbl 2007a, 50(5-6): 677–685
258. Kahl H, Dortsch R, Ellsäßer G. Verletzungen bei Kindern und Jugendlichen (1–17 Jahre) und Umsetzung von persönlichen Schutzmaßnahmen
Bundesgesundheitsbl 2007b, 50(5-6): 718–727
259. Kamtsiuris P, Lange M, Schaffrath Rosario A. Der Kinder- und Jugendgesundheitsurvey (KiGGS): Stichprobendesign, Response und Nonresponse-Analyse
Bundesgesundheitsbl 2007, 50: 547–556
260. Kanis JA, WHO Study Group. Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis: synopsis of a WHO report.
Osteoporos Int 1994, 4(6): 368–381
261. Kanis JA, Melton LJ III, Christiansen C, Johnston CC, Khaltayev N. Perspective The diagnosis of osteoporosis
Journal of bone and mineral research 1994, 9(8): 1137–1141

262. Kanis JA, Glüer CC. An update on the diagnosis and assessment of osteoporosis with densitometry. Committee of Scientific Advisors, International Osteoporosis Foundation Osteoporos Int 2000, 11(3):192–202
263. Kanis JA, McCloskey EV, Johansson H, Oden A, Melton LJ, Khaltayev N. A reference standard for the description of osteoporosis Bone 2008a, 42(3): 467–475
264. Kanis JA, Burlet N, Cooper C, Delmas PD, Reginster J, Borgstrom F, Rizzoli R. European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women Osteoporos Int 2008b, 19(4): 399–428
265. Kann PH. Osteodensitometrie und Ultraschalluntersuchungen des Knochens. Methoden, Indikationen und Aussagekraft Orthopade 2001, 30(7): 437–443
266. Kant AK. Indexes of overall diet quality: a review J Am Diet Assoc 1996, 96(8): 785–791
267. Kemi VE, Kärkkäinen MUM, Rita HJ, Laaksonen MML, Outila TA, Lamberg-Allardt CJE. Low calcium:phosphorus ratio in habitual diets affects serum parathyroid hormone concentration and calcium metabolism in healthy women with adequate calcium intake Br J Nutr 2010, 103(4): 561
268. Khadilkar AV, Sanwalka NJ, Kadam NS, Chiplonkar SA, Khadilkar VV, Mughal MZ. Poor bone health in underprivileged Indian girls: an effect of low bone mass accrual during puberty Bone 2012, 50(5): 1048–1053
269. Khan K. Physical activity and bone health, Champaign, IL, Human Kinetics, 2001
270. Kiebzak GM, Faulkner KG, Wacker W, Hamdy R, Seier E, Watts NB. Effect of precision error on T-scores and the diagnostic classification of bone status J Clin Densitom 2007, 10(3): 239–243
271. Kleine B, Rossmannith WG. Hormone und Hormonsystem. Lehrbuch der Endokrinologie. Springer-Lehrbuch, 2., erw. Aufl., Berlin [u.a.], Springer, 2010
272. Kleiser C, Mensink GBM, Scheidt-Nave C, Kurth B. HuSKY: a healthy nutrition score based on food intake of children and adolescents in Germany BJN 2009, 102(04): 610
273. Klentrou P, Ludwa IA. Quantitative Bone Ultrasound Measurements in Young Females 14–23 Years of Age Journal of Women's Health 2011, 20(5): 677–683
274. Koch A. Teilnahmeverhalten beim ALLBUS 1994: soziodemographische Determinanten von Erreichbarkeit, Befragungsfähigkeit und Kooperationsbereitschaft Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie 1997, 49(1): 89-122
275. Kolthoff N, Eiken P, Bärenholdt O, Nielsen SP. Ultrasound measurements of the os calcis. Side differences and prediction of bone density in 39 persons Acta Orthop Scand 1995, 66(3): 278–282
276. Kontulainen SA, Hughes JM, Macdonald HM, Johnston JD. The biomechanical basis of bone strength development during growth Med Sport Sci 2007, 51: 13–32
277. Kontulainen SA, Kannus PA, Pasanen ME, Sievänen HT, Heinonen AO, Oja P, Vuori I. Does previous participation in high-impact training result in residual bone gain in growing girls? One year follow-up of a 9-month jumping intervention Int J Sports Med 2002, 23(8): 575–581

278. Koo MM, Rohan TE. Comparison of four habitual physical activity questionnaires in girls aged 7-15 yr
Med Sci Sports Exerc 1999, 31(3): 421–427
279. Korkor AB, Eastwood D, Bretzmann C. Effects of gender, alcohol, smoking, and dairy consumption on bone mass in Wisconsin adolescents
WMJ 2009, 108(4): 181–188
280. Kotzki PO, Buyck D, Hans D, Thomas E, Bonnel F, Favier F, Meunier PJ, Rossi M. Influence of fat on ultrasound measurements of the os calcis
Calcif Tissue Int 1994, 54(2): 91–95
281. Krems C, Lührmann PM, Neuhäuser-Berthold M. Physical activity in young and elderly subjects
J Sports Med Phys Fitness 2004, 44(1): 71–76
282. Krieg M, Cornuz J, Ruffieux C, van Melle G, Büche D, Dambacher MA, Hans D, Hartl F, Häuselmann HJ, Kraenzlin M, Lippuner K, Neff M, Pancaldi P et al. Prediction of hip fracture risk by quantitative ultrasound in more than 7000 Swiss women ≥ 70 years of age: comparison of three technologically different bone ultrasound devices in the SEMOF study
J Bone Miner Res 2006, 21(9): 1457–1463
283. Krieg M, Barkmann R, Gonnelli S, Stewart A, Bauer DC, Del Rio Barquero L, Kaufman JJ, Lorenc R, Miller PD, Olszynski WP, Poiana C, Schott A, Lewiecki EM et al. Quantitative Ultrasound in the Management of Osteoporosis: The 2007 ISCD Official Positions
J Clin Densitom 2008, 11(1): 163–187
284. Kristinsson JO, Valdimarsson O, Sigurdsson G, Franzson L, Olafsson I, Steingrimsdottir L. Serum 25-hydroxyvitamin D levels and bone mineral density in 16-20 years-old girls: lack of association
J Intern Med 1998, 243(5): 381–388
285. Kromeyer-Hauschild K, Wabitsch M, Kunze D, Geller F, Geiß HC, Hesse V, Hippel A von, Jaeger U, Johnsen D, Korte W, Menner K, Müller G, Müller JM et al. Perzentile für den Body-mass-Index für das Kindes- und Jugendalter unter Heranziehung verschiedener deutscher Stichproben
Monatsschr Kinderheilkd 2001, 149(8): 807-818
286. Kuntz B, Lampert T. Potenzielle Bildungsaufsteiger leben gesünder
Praev Gesundheitsf 2011, 6(1): 11–18
287. Kurth BM, Bergmann KE, Hölling H, Kahl H, Kamtsiuris P, Thefeld W. Der bundesweite Kinder- und Jugendgesundheitsurvey. Das Gesamtkonzept
Gesundheitswesen 2002, 64 Suppl 1: S3-11
288. Kurth B, Schaffrath Rosario A. Die Verbreitung von Übergewicht und Adipositas bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland
Bundesgesundheitsbl 2007, 50(5-6): 736–743
289. Kushner RF. Bioelectrical impedance analysis: a review of principles and applications
J Am Coll Nutr 1992, 11(2): 199–209
290. Kushner RF, Schoeller DA. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis
Am J Clin Nutr 1986, 44(3): 417–424
291. Laddu DR, Farr JN, Laudermilk MJ, Lee VR, Blew RM, Stump C, Houtkooper L, Lohman TG, Going SB. Longitudinal relationships between whole body and central adiposity on weight-bearing bone geometry, density, and bone strength: a pQCT study in young girls
Arch Osteoporos 2013, 8(1-2): 156

292. Lambert HL, Eastell R, Karnik K, Russell JM, Barker ME. Calcium supplementation and bone mineral accretion in adolescent girls: an 18-mo randomized controlled trial with 2-y follow-up
Am J Clin Nutr 2008, 87(2): 455–462
293. Lampert T, Thamm M. Tabak-, Alkohol- und Drogenkonsum von Jugendlichen in Deutschland
Bundesgesundheitsbl 2007, 50(5-6): 600–608
294. Lampert T, Mensink GBM, Romahn N, Woll A. Körperlich-sportliche Aktivität von Kindern und Jugendlichen in Deutschland
Bundesgesundheitsbl 2007a, 50(5-6): 634–642
295. Lampert T, Sygusch R, Schlack R. Nutzung elektronischer Medien im Jugendalter
Bundesgesundheitsbl 2007b, 50(5-6): 643–652
296. Lanfer A, Hebestreit A, Ahrens W, Krogh V, Sieri S, Lissner L, Eiben G, Siani A, Huybrechts I, Loit H, Papoutsou S, Kovács É, Pala V et al. Reproducibility of food consumption frequencies derived from the Children's Eating Habits Questionnaire used in the IDEFICS study
Int J Obes Relat Metab Disord 2011, 35: S61
297. Lange M, Kamtsiuris P, Lange C, Schaffrath Rosario A, Stolzenberg H, Lampert T. Messung soziodemographischer Merkmale im Kinder- und Jugendgesundheitsurvey (KiGGS) und ihre Bedeutung am Beispiel der Einschätzung des allgemeinen Gesundheitszustands
Bundesgesundheitsbl 2007, 50(5-6): 578–589
298. Langsetmo L, Poliquin S, Hanley DA, Prior JC, Barr S, Anastassiades T, Towheed T, Goltzman D, Kreiger N. Dietary patterns in Canadian men and women ages 25 and older: relationship to demographics, body mass index, and bone mineral density
BMC Musculoskelet Disord 2010, 11: 20
299. Langton CM, Njeh CF. Sound-tissue interaction: the physical basis of bone ultrasonometry and limitations of existing methods
J Clin Densitom 1998, 1(3): 295–301
300. Lanham-New S, Bonjour J (Hg.). Nutritional aspects of bone health, Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, 2003
301. Lantz H, Bratteby L, Fors H, Sandhagen B, Sjöström L, Samuelson G. Body composition in a cohort of Swedish adolescents aged 15, 17 and 20.5 years
Acta Paediatrica 2008, 97(12): 1691–1697
302. Lanyon LE. Functional strain in bone tissue as an objective, and controlling stimulus for adaptive bone remodelling
J Biomech 1987, 20(11-12): 1083–1093
303. Lanyon LE, Goodship AE, Pye CJ, MacFie JH. Mechanically adaptive bone remodelling
J Biomech 1982, 15(3): 141–154
304. Lappe JM, Stegman M, Davies KM, Barber S, Recker RR. A prospective study of quantitative ultrasound in children and adolescents
J Clin Densitom 2000, 3(2): 167–175
305. Latza U, Stang A, Bergmann M, Kroke A, Sauer S, Holle R, Kamtsiuris P, Terschüren C, Hoffmann W. Zum Problem der Response in epidemiologischen Studien in Deutschland (Teil I)
Gesundheitswesen 2004, 66: 326–336
306. Lau E, Ong K, Kurtz S, Schmier J, Edidin A. Mortality Following the Diagnosis of a Vertebral Compression Fracture in the Medicare Population
J Bone Joint Surg Am 2008, 90(7): 1479

307. Lavado-Garcia JM, Calderon-Garcia JF, Moran JM, Canal-Macias ML, Rodriguez-Dominguez T, Pedrera-Zamorano JD. Bone mass of Spanish school children: impact of anthropometric, dietary and body composition factors
J Bone Miner Metab 2012, 30(2): 193–201
308. Lehtonen-Veromaa M, Möttönen T, Nuotio I, Heinonen OJ, Viikari J. Influence of physical activity on ultrasound and dual-energy X-ray absorptiometry bone measurements in peripubertal girls: a cross-sectional study
Calcif Tissue Int 2000a, 66(4): 248–254
309. Lehtonen-Veromaa M, Möttönen T, Irjala K, Nuotio I, Leino A, Viikari J. A 1-Year Prospective Study on the Relationship between Physical Activity, Markers of Bone Metabolism, and Bone Acquisition in Peripubertal Girls
J Clin Endocrinol Metab 2000b, 85(10): 3726–3732
310. Lehtonen-Veromaa MKM, Möttönen TT, Nuotio IO, Irjala KMA, Leino AE, Viikari JSA. Vitamin D and attainment of peak bone mass among peripubertal Finnish girls: a 3-y prospective study
Am J Clin Nutr 2002, 76(6): 1446–1453
311. Leidig-Bruckner G, Minne HW, Schlaich C, Wagner G, Scheidt-Nave C, Bruckner T, Gebest HJ, Ziegler R. Clinical grading of spinal osteoporosis: quality of life components and spinal deformity in women with chronic low back pain and women with vertebral osteoporosis
J Bone Miner Res 1997, 12(4): 663–675
312. Leonard MB, Shults J, Wilson BA, Tershakovec AM, Zemel BS. Obesity during childhood and adolescence augments bone mass and bone dimensions
Am J Clin Nutr 2004, 80(2): 514–523
313. Libuda L, Alexy U, Remer T, Stehle P, Schoenau E, Kersting M. Association between long-term consumption of soft drinks and variables of bone modeling and remodeling in a sample of healthy German children and adolescents
Am J Clin Nutr 2008, 88(6): 1670–1677
314. Lin P, Ginty F, Appel LJ, Aickin M, Bohannon A, Garner P, Barclay D, Svetkey LP. The DASH diet and sodium reduction improve markers of bone turnover and calcium metabolism in adults
J Nutr 2003, 133(10): 3130–3136
315. Lin Y, Tu S, Pan WL. Bone mass status of school-aged children in Taiwan assessed by quantitative ultrasound: the Nutrition and Health Survey in Taiwan Elementary School Children (NAHSIT Children 2001-2002)
Asia Pac J Clin Nutr 2007, 16 Suppl 2: 585–593
316. Lippuner K, von Overbeck J, Perrelet R, Bosshard H, Jaeger P. Incidence and direct medical costs of hospitalizations due to osteoporotic fractures in Switzerland
Osteoporos Int 1997, 7(5): 414–425
317. Liu Y, Shen H, Xiao P, Xiong D, Li L, Recker RR, Deng H. Molecular Genetic Studies of Gene Identification for Osteoporosis: A 2004 Update
J Bone Miner Res 2006, 21(10): 1511–1535
318. Liu Y, Wang M, Tynjälä J, Lv Y, Villberg J, Zhang Z, Kannas L. Test-retest reliability of selected items of Health Behaviour in School-aged Children (HBSC) survey questionnaire in Beijing, China
BMC Med Res Methodol 2010, 10: 73
319. Livingstone MBE, Robson PJ, Wallace JMW. Issues in dietary intake assessment of children and adolescents
BJN 2004, 92(S2): S213

320. Lloyd T, Martel JK, Rollings N, Andon MB, Kulin H, Demers LM, Eggli DF, Kieselhorst K, Chinchilli VM. The effect of calcium supplementation and Tanner stage on bone density, content and area in teenage women
Osteoporos Int 1996, 6(4): 276–283
321. Longhi S, Pasquino B, Calcagno A, Bertelli E, Olivieri I, Di Iorgi N, Radetti G. Small metacarpal bones of low quality in obese children
Clin Endocrinol (Oxf) 2013, 78(1): 79–85
322. Lorentzon M, Mellström D, Haug E, Ohlsson C. Smoking Is Associated with Lower Bone Mineral Density and Reduced Cortical Thickness in Young Men
J Clin Endocrinol Metab 2007, 92(2): 497–503
323. Lubans DR, Hesketh K, Cliff DP, Barnett LM, Salmon J, Dollman J, Morgan PJ, Hills AP, Hardy LL. A systematic review of the validity and reliability of sedentary behaviour measures used with children and adolescents
Obesity Reviews 2011, 12(10): 781–799
324. Lucas R, Fraga S, Ramos E, Barros H, Harvey N. Early Initiation of Smoking and Alcohol Drinking as a Predictor of Lower Forearm Bone Mineral Density in Late Adolescence: A Cohort Study in Girls
PLoS ONE 2012, 7(10): e46940
325. Lukaski HC. Methods for the assessment of human body composition: traditional and new
Am J Clin Nutr 1987, 46(4): 537–556
325. Lukaski HC. Biological indexes considered in the derivation of the bioelectrical impedance analysis
Am J Clin Nutr 1996, 64(3 Suppl): 397S-404S
326. Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, Lykken GI. Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body
Am J Clin Nutr 1985, 41(4): 810–817
327. Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CB, Siders WA. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition
J Appl Physiol 1986, 60(4): 1327–1332
328. Lum CK, Wang MC, Moore E, Wilson DM, Marcus R, Bachrach LK. A comparison of calcaneus ultrasound and dual X-ray absorptiometry in healthy North American youths and young adults
J Clin Densitom 1999, 2(4): 403–411
329. Lunar Corporation, Lunar Achilles InSight Lunar Achilles Express
Bedienerhandbuch, o. J.
330. Lynch JW, Kaplan GA, Salonen JT. Why do poor people behave poorly? Variation in adult health behaviours and psychosocial characteristics by stages of the socioeconomic lifecourse
Soc Sci Med 1997, 44(6): 809–819
- 331 Lyons RA, Delahunty AM, Heaven M, McCabe M, Allen H Nash P. Incidence of childhood fractures in affluent and deprived areas: population based study
BMJ 2000, 320(7228): 149
332. Ma D, Jones G. Soft Drink and Milk Consumption, Physical Activity, Bone Mass, and Upper Limb Fractures in Children: A Population-Based Case-Control Study
Calcif Tissue Int 2004, 75(4): 286–291
333. Macdonald HM, Hardcastle AC. Dietary patterns and bone health, S. 135–143
In: Peter Burckhardt, Bess Dawson-Hughes und Connie Weaver (Hg.) *Nutritional influences on bone health*. Springer, Dordrecht, New York, 2010

334. Macdonald H, Kontulainen S, Petit M, Janssen P, McKay H. Bone strength and its determinants in pre- and early pubertal boys and girls
Bone 2006, 39(3): 598–608
335. Macdonald HM, New SA, Golden MHN, Campbell MK, Reid DM. Nutritional associations with bone loss during the menopausal transition: evidence of a beneficial effect of calcium, alcohol, and fruit and vegetable nutrients and of a detrimental effect of fatty acids
Am J Clin Nutr 2004, 79(1): 155–165
336. MacKelvie KJ, Khan KM, McKay HA. Is there a critical period for bone response to weight-bearing exercise in children and adolescents? a systematic review
Br J Sports Med 2002, 36(4): 250–257
337. MacKelvie KJ, McKay HA, Khan KM, Crocker PR. A school-based exercise intervention augments bone mineral accrual in early pubertal girls
J Pediatr 2001, 139(4): 501–508
338. MacKelvie KJ, Petit MA, Khan KM, Beck TJ, McKay HA. Bone mass and structure are enhanced following a 2-year randomized controlled trial of exercise in prepubertal boys
Bone 2004, 34(4): 755–764
339. Maggio ABR, Belli DC, Puigdefabregas JWB, Rizzoli R, Farpour-Lambert NJ, Beghetti M, McLin VA. High bone density in adolescents with obesity is related to fat mass and serum leptin concentrations
J Pediatr Gastroenterol Nutr 2014, 58(6): 723–728
340. Maggiolini M, Bonofiglio D, Giorno A, Catalano S, Marsico S, Aquila S, Andò S. The effect of dietary calcium intake on bone mineral density in healthy adolescent girls and young women in southern Italy
Int J Epidemiol 1999, 28(3): 479–484
341. Magkos F, Manios Y, Babaroutsi E, Sidossis LS. Contralateral differences in quantitative ultrasound of the heel: the importance of side in clinical practice
Osteoporos Int 2005b, 16(8): 879–886
342. Magkos F, Manios Y, Babaroutsi E, Sidossis LS. Quantitative ultrasound calcaneus measurements: normative data for the Greek population
Osteoporos Int 2005a, 16(3): 280–288
343. Manias K, McCabe D, Bishop N. Fractures and recurrent fractures in children; varying effects of environmental factors as well as bone size and mass
Bone 2006, 39(3): 652–657
344. Manzoni P, Brambilla P, Pietrobelli A, Beccaria L, Bianchessi A, Mora S, Chiumello G. Influence of body composition on bone mineral content in children and adolescents
Am J Clin Nutr 1996, 64(4): 603–607
345. Marks SC, Popoff SN. Bone cell biology: the regulation of development, structure, and function in the skeleton
Am J Anat 1988, 183(1): 1–44
346. Martins SL, Curtis KM, Glasier AF. Combined hormonal contraception and bone health: a systematic review
Contraception 2006, 73(5): 445–469
347. Marwaha RK, Tandon N, Reddy DHK, Mani K, Puri S, Aggarwal N, Grewal K, Singh S. Peripheral bone mineral density and its predictors in healthy school girls from two different socioeconomic groups in Delhi
Osteoporos Int 2007, 18(3): 375–383
348. Massey LK. Dietary animal and plant protein and human bone health: a whole foods approach
J Nutr 2003, 133(3): 862S–865S

349. Matkovic V, Badenhop-Stevens NE, Ha E, Crncevic-Orlic Z, Clairmont A. Nutrition and bone health in children and adolescents, S. 173–195
In: M. F. Holick und Bess Dawson-Hughes (Hg.) Nutrition and bone health, (Nutrition and health), Totowa, N.J, Humana Press, 2004a
350. Matkovic V, Landoll JD, Badenhop-Stevens NE, Ha E, Crncevic-Orlic Z, Li B, Goel P. Nutrition influences skeletal development from childhood to adulthood: a study of hip, spine, and forearm in adolescent females
J Nutr 2004b, 134(3): 701S-705S
351. Matkovic V, Goel PK, Badenhop-Stevens NE, Landoll JD, Li B, Ilich JZ, Skugor M, Nagode LA, Mobley SL, Ha E, Hangartner TN, Clairmont A. Calcium supplementation and bone mineral density in females from childhood to young adulthood: a randomized controlled trial
Am J Clin Nutr 2005, 81(1): 175–188
352. Matkovic V, Jelic T, Wardlaw GM, Ilich JZ, Goel PK, Wright JK, Andon MB, Smith KT, Heaney RP. Timing of peak bone mass in Caucasian females and its implication for the prevention of osteoporosis. Inference from a cross-sectional model
J Clin Invest 1994, 93(2): 799–808
353. Matlik L, Savaiano D, McCabe G, VanLoan M, Blue CL, Boushey CJ. Perceived milk intolerance is related to bone mineral content in 10- to 13-year-old female adolescents
Pediatrics 2007, 120(3): e669-677
354. Matthys C, Pynaert I, Keyzer W de, Henauw S de. Validity and reproducibility of an adolescent web-based food frequency questionnaire
J Am Diet Assoc 2007, 107(4): 605–610
355. McGartland C, Robson PJ, Murray L, Cran G, Savage MJ, Watkins D, Rooney M, Boreham C. Carbonated soft drink consumption and bone mineral density in adolescence: the Northern Ireland Young Hearts project
J Bone Miner Res 2003, 18(9): 1563–1569
356. McGartland CP, Robson PJ, Murray LJ, Cran GW, Savage MJ, Watkins DC, Rooney MM, Boreham CA. Fruit and vegetable consumption and bone mineral density: the Northern Ireland Young Hearts Project
Am J Clin Nutr 2004, 80(4): 1019–1023
357. McKay HA, Petit MA, Bailey DA, Wallace WM, Schutz RW, Khan KM. Analysis of proximal femur DXA scans in growing children: comparisons of different protocols for cross-sectional 8-month and 7-year longitudinal data
J Bone Miner Res 2000, 15(6): 1181–1188
358. McKay HA, MacLean L, Petit M, MacKelvie-O'Brien K, Janssen P, Beck T, Khan KM. "Bounce at the Bell": a novel program of short bouts of exercise improves proximal femur bone mass in early pubertal children
Br J Sports Med 2005, 39(8): 521–526
359. McMurray RG, Ring KB, Treuth MS, Welk GJ, Pate RR, Schmitz KH, Pickrel JL, Gonzalez V, Almedia MJCA, Young DR, Sallis JF. Comparison of two approaches to structured physical activity surveys for adolescents
Med Sci Sports Exerc 2004, 36(12): 2135–2143
360. McPherson R, Hoelscher DM, Alexander M, Scanlon KS, Serdula MK. Dietary Assessment Methods among School-Aged Children: Validity and Reliability
Prev Med 2000, 31(2): S11
361. Meisinger C, Wildner M, Stieber J, Heier M, Sangha O, Döring A. Epidemiologie der Extremitätenfrakturen. Ergebnisse des MONICA-Surveys 1994/1995 in der Region Augsburg
Orthopade 2002, 31(1):92–99

362. Mensink GBM, Burger M. Was isst du?
Bundesgesundheitsbl 2004, 47(3): 219–226
363. Mensink GBM, Kleiser C, Richter A. Lebensmittelverzehr bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland
Bundesgesundheitsbl 2007a, 50(5-6): 609–623
364. Mensink GBM, Heseker H, Richter A, Stahl A, Vohmann C. Ernährungsstudie als KiGGS-Modul (EsKiMo). Forschungsbericht. Unter Mitarbeit von Jessica Fischer, Simone Kohler und Julia Six. Hg. v. Universität Paderborn Robert Koch-Institut, 2007b
365. Mentzel H, Wünsche K, Malich A, Böttcher J, Vogt S, Kaiser WA. Einfluss sportlicher Aktivität von Kindern und Jugendlichen auf den Kalkaneus - Eine Untersuchung mit quantitativem Ultraschall
Rofo Fortschr Geb Rontgenstr N 2005, 177(04): 524–529
366. Merrilees MJ, Smart EJ, Gilchrist NL, Frampton C, Turner JG, Hooke E, March RL, Maguire P. Effects of diary food supplements on bone mineral density in teenage girls
Eur J Nutr 2000, 39(6): 256–262
367. Metcalf PA, Scragg RKR, Sharpe S, Fitzgerald EDH, Schaaf D, Watts C. Short-term repeatability of a food frequency questionnaire in New Zealand children aged 1–14y
Eur J Clin Nutr 2003, 57(11): 1498–1503
368. Michaëlsson K, Holmberg L, Mallmin H, Wolk A, Bergström R, Ljunghall S. Diet, bone mass, and osteocalcin: a cross-sectional study
Calcif Tissue Int 1995, 57(2): 86–93
369. Micklesfield LK, Zielonka EA, Charlton KE, Katzenellenbogen L, Harkins J, Lambert EV. Ultrasound bone measurements in pre-adolescent girls: interaction between ethnicity and lifestyle factors
Acta Paediatr 2004, 93(6): 752–758
370. Miller CG, Herd RJ, Ramalingam T, Fogelman I, Blake GM. Ultrasonic velocity measurements through the calcaneus: which velocity should be measured?
Osteoporos Int 1993, 3(1): 31–35
371. Mimouni FB, Shamir R. Vitamin D requirements in the first year of life
Curr Opin Clin Nutr Metab Care 2009, 12(3): 287–292
372. Minematsu K, Noguchi M, Muraki S, Fukuda R, Goto K, Tagami K, Yuasa M, Marui E, Tsunawake N. Effect of exercise on bone status and body composition in Japanese students
Med Sci Sports Exerc 2012, 44(7): 1382–1387
373. Mølgaard C, Thomsen BL, Michaelsen KF. Influence of weight, age and puberty on bone size and bone mineral content in healthy children and adolescents
Acta Paediatr 1998, 87(5): 494–499
374. Mølgaard C, Thomsen BL, Michaelsen KF. Effect of habitual dietary calcium intake on calcium supplementation in 12-14-y-old girls
Am J Clin Nutr 2004, 80(5): 1422–1427
375. Monjardino T, Lucas R, Ramos E, Barros H. Associations between a priori-defined dietary patterns and longitudinal changes in bone mineral density in adolescents
Public Health Nutr 2012: 1–11
376. Moore FD. Energy and the maintenance of the body cell mass
JPEN J Parenter Enteral Nutr 1980, 4(3): 228–260
377. Moore FD, Olesen KN, McMurray JD, Parker HV, Ball MR, Boyden CM. The body cell mass and its supporting environment. Body composition in health and disease, Philadelphia, WB Saunders Company, 1963

378. Mora S, Gilsanz V. Establishment of peak bone mass
Endocrinol Metab Clin North Am 2003, 32(1): 39–63
379. Mora S, Goodman WG, Loro ML, Roe TF, Sayre J, Gilsanz V. Age-related changes in cortical and cancellous vertebral bone density in girls: assessment with quantitative CT
AJR Am J Roentgenol 1994, 162(2): 405–409
380. Morris HA, Anderson PH. Autocrine and paracrine actions of vitamin d
Clin Biochem Rev 2010, 31(4): 129–138
381. Mouratidou T, Vicente-Rodriguez G, Gracia-Marco L, Huybrechts I, Sioen I, Widhalm K, Valtueña J, González-Gross M, Moreno LA. Associations of dietary calcium, vitamin D, milk intakes, and 25-hydroxyvitamin D with bone mass in Spanish adolescents: the HELENA study
J Clin Densitom 2013, 16(1): 110–117
382. Müller MJ. Ernährungsmedizinische Praxis. Methoden - Prävention - Behandlung; mit 219 Tabellen, 2., vollst. neu bearb. Auflage, Heidelberg, Springer, 2007
383. Müller MJ, Bosy-Westphal A, Klaus S, Kreymann G, Lührmann PM, Neuhäuser-Berthold M, Noack R, Pirke KM, Platte P, Selberg O, Steiniger J. World Health Organization equations have shortcomings for predicting resting energy expenditure in persons from a modern, affluent population: generation of a new reference standard from a retrospective analysis of a German database of resting energy expenditure
Am J Clin Nutr 2004, 80(5): 1379–1390
384. Mughal MZ, Langton CM, Utretch G, Morrison J, Specker BL. Comparison between broad-band ultrasound attenuation of the calcaneum and total body bone mineral density in children
Acta Paediatr 1996, 85(6): 663–665
385. Mughal MZ, Ward K, Qayyum N, Langton CM. Assessment of bone status using the contact ultrasound bone analyser
Arch Dis Child 1997, 76(6): 535–536
386. Munger RG, Cerhan JR, Chiu BC. Prospective study of dietary protein intake and risk of hip fracture in postmenopausal women
Am J Clin Nutr 1999, 69(1): 147–152
387. Mutschler E, Thews G, Schaible H, Vaupel P. Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen. 140 Tabellen, 6., völlig überarb. und erw, Stuttgart, Wiss. Verl.-Ges., 2007
388. Nabulsi M, Mahfoud Z, Maalouf J, Arabi A, Fuleihan GE. Impact of maternal veiling during pregnancy and socioeconomic status on offspring's musculoskeletal health
Osteoporos Int 2008, 19(3): 295–302
389. Nappi C, Bifulco G, Tommaselli GA, Gargano V, Di Carlo C. Hormonal contraception and bone metabolism: a systematic review
Contraception 2012, 86(6): 606–621
390. New SA, Bolton-Smith C, Grubb DA, Reid DM. Nutritional influences on bone mineral density: a cross-sectional study in premenopausal women
Am J Clin Nutr 1997, 65(6): 1831–1839
391. New SA, Robins SP, Campbell MK, Martin JC, Garton MJ, Bolton-Smith C, Grubb DA, Lee SJ, Reid DM. Dietary influences on bone mass and bone metabolism: further evidence of a positive link between fruit and vegetable consumption and bone health?
Am J Clin Nutr 2000, 71(1): 142–151
392. Nguyen TV, Maynard LM, Towne B, Roche AF, Wisemandle W, Li J, Guo SS, Chumlea WC, Siervogel RM. Sex differences in bone mass acquisition during growth: the Fels Longitudinal Study
J Clin Densitom 2001, 4(2): 147–157

393. Nguyen TV, Chu J, Sathiakumar C, Pocock NA. Reproducibility and concordance in quantitative ultrasound measurements between densitometers: a comparative study
J Clin Densitom 2003, 6(4): 337–344
394. Nichols DL, Sanborn CF, Love AM. Resistance training and bone mineral density in adolescent females
J Pediatr 2001, 139(4): 494–500
395. Nicholson PH, Müller R, Cheng XG, Rüdiger P, van der Perre G, Dequeker J, Boonen S. Quantitative ultrasound and trabecular architecture in the human calcaneus
J Bone Miner Res 2001, 16(10): 1886–1892
396. Nicholson PHF, Buxsein ML. Effect of temperature on ultrasonic properties of the calcaneus in situ
Osteoporos Int 2002, 13(11): 888–892
397. NIH Consensus Development Panel. Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy
JAMA 2001, 285(6): 785–795
398. Njeh CF, Boivin CM, Langton CM. The role of ultrasound in the assessment of osteoporosis: a review
Osteoporos Int 1997, 7(1): 7–22
399. Njeh CF, Fuerst T, Hans D, Blake GM, Genant HK. Radiation exposure in bone mineral density assessment
Appl Radiat Isot 1999, 50(1): 215–236
400. Njeh CF, Hans D, Li J, Fan B, Fuerst T, He YQ, Tsuda-Futami E, Lu Y, Wu CY Genant HK. Comparison of six calcaneal quantitative ultrasound devices: precision and hip fracture discrimination
Osteoporos Int 2000, 11(12): 1051–1062
401. Njeh CF, Fuerst T, Diessel E, Genant HK. Is quantitative ultrasound dependent on bone structure? A reflection
Osteoporos Int 2001, 12(1): 1–15
402. Nocon M, Keil T, Willich SN. Education, income, occupational status and health risk behaviour
J Public Health 2007, 15(5): 401–405
403. Norris SA, Sheppard ZA, Griffiths PL, Cameron N, Pettifor JM. Current socio-economic measures, and not those measured during infancy, affect bone mass in poor urban South african children
J Bone Miner Res 2008, 23(9): 1409–1416
404. Nowson CA, Green RM, Hopper JL, Sherwin AJ, Young D, Kaymakci B, Guest CS, Smid M, Larkins RG, Wark JD. A co-twin study of the effect of calcium supplementation on bone density during adolescence
Osteoporos Int 1997, 7(3): 219–225
405. Novotny R, Daida YG, Grove JS, Acharya S, Vogt TM, Paperny D. Adolescent dairy consumption and physical activity associated with bone mass
Prev Med 2004, 39(2): 355–360
406. Nurmi-Lawton JA, Baxter-Jones AD, Mirwald RL, Bishop JA, Taylor P, Cooper C, New SA. Evidence of sustained skeletal benefits from impact-loading exercise in young females: a 3-year longitudinal study
J Bone Miner Res 2004, 19(2): 314–322
407. Oliveri MB, Wittich A, Mautalen C, Chaperon A, Kizlansky A. Peripheral Bone Mass is Not Affected by Winter Vitamin D Deficiency in Children and Young Adults from Ushuaia
Calcif Tissue Int 2000, 67(3): 220–224

408. Ondrak KS, Morgan DW. Physical activity, calcium intake and bone health in children and adolescents
Sports Med 2007, 37(7): 587–600
409. Oral A, Yaliman A, Sindel D. Differences between the right and the left foot in calcaneal quantitative ultrasound measurements
Eur Radiol 2004, 14(8): 1427–1431
410. Organ LW, Bradham GB, Gore DT, Lozier SL. Segmental bioelectrical impedance analysis: theory and application of a new technique
J Appl Physiol 1994, 77(1): 98–112
411. Outila TA, Kärkkäinen MU, Lamberg-Allardt CJ. Vitamin D status affects serum parathyroid hormone concentrations during winter in female adolescents: associations with forearm bone mineral density
Am J Clin Nutr 2001, 74(2): 206–210
412. Pande I, Scoltt DL, O'Neill TW, Pritchard C, Woolf AD, Davis MJ. Quality of life, morbidity, and mortality after low trauma hip fracture in men
Ann Rheum Dis 2006, 65(1):87–92
413. Parfitt AM, Travers R, Rauch F, Glorieux FH. Structural and cellular changes during bone growth in healthy children
Bone 2000, 27(4): 487–494
413. Pate RR, Pratt M, Blair SN, Haskell WL, Macera CA, Bouchard C, Buchner D, Ettinger W, Heath GW, King AC. Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine
JAMA 1995, 273(5): 402–407
414. Perotti M, Perra S, Saluzzi A, Grassi G, Pincelli AI. Body fat mass is a strong and negative predictor of peak stimulated growth hormone and bone mineral density in healthy adolescents during transition period
Horm Metab Res 2013, 45(10): 748–753
415. Petersen AC, Crockett L, Richards M, Boxer A. A self-report measure of pubertal status: Reliability, validity, and initial norms
J Youth Adolesc 1988, 17(2): 117–133
416. Petit MA, McKay HA, MacKelvie KJ, Heinonen A, Khan KM, Beck TJ. A randomized school-based jumping intervention confers site and maturity-specific benefits on bone structural properties in girls: a hip structural analysis study
J Bone Miner Res 2002, 17(3): 363–372
417. Pettersson U, Nilsson M, Sundh V, Mellström D, Lorentzon M. Physical activity is the strongest predictor of calcaneal peak bone mass in young Swedish men
Osteoporos Int 2010, 21(3): 447–455
418. Pettinato AA, Loud KJ, Bristol SK, Feldman HA, Gordon CM. Effects of Nutrition, Puberty, and Gender on Bone Ultrasound Measurements in Adolescents and Young Adults
J Adolesc Health 2006, 39(6): 828–834
419. Pietrobelli A, Faith MS, Wang J, Brambilla P, Chiumello G, Heymsfield SB. Association of lean tissue and fat mass with bone mineral content in children and adolescents
Obes Res 2002, 10(1): 56–60
420. Plachta-Danielzik S. Persönliche Mitteilung. (E-Mail: 26.10.2011)
421. Plachta-Danielzik S, Gehrke MI, Kehden B, Kromeyer-Hauschild K, Grillenberger M, Willhöft C, Bosy-Westphal A, Müller MJ. Body fat percentiles for German children and adolescents
Obes Facts 2012, 5(1): 77–90

422. Pocock NA, Babichev A, Culton N, Graney K, Rooney J, Bell D, Chu J. Temperature dependency of quantitative ultrasound
Osteoporos Int 2000, 11(4): 316–320
423. Prentice A, Ginty F, Stear SJ, Jones SC, Laskey MA, Cole TJ. Calcium Supplementation Increases Stature and Bone Mineral Mass of 16- to 18-Year-Old Boys
J Clin Endocrinol Metab 2005, 90(6): 3153–3161
424. Prynne CJ, Mishra GD, O'Connell MA, Muniz G, Laskey MA, Yan L, Prentice A, Ginty F. Fruit and vegetable intakes and bone mineral status: a cross sectional study in 5 age and sex cohorts
Am J Clin Nutr 2006, 83(6): 1420–1428
425. Raisz LG. Bone physiology. Bone cells, modeling, and remodeling, S. 43–62
In: M. F. Holick und B. Dawson-Hughes (Hg.) *Nutrition and bone health*. Humana Press, Totowa, N.J (Nutrition and health), 2004
426. Ralston SH, Uitterlinden AG. Genetics of Osteoporosis
Endocrine Reviews 2010, 31(5): 629–662
427. Rangul V, Holmen T, Kurtze N, Cuypers K, Midthjell K. Reliability and validity of two frequently used self-administered physical activity questionnaires in adolescents
BMC Med Res Methodol 2008, 8(1): 47
428. Rauch F, Bailey DA, Baxter-Jones A, Mirwald R, Faulkner R. The 'muscle-bone unit' during the pubertal growth spurt
Bone 2004, 34(5): 771–775
429. Rauch F, Plotkin H, DiMeglio L, Engelbert RH, Henderson RC, Munns C, Wenkert D, Zeitler P. Fracture prediction and the definition of osteoporosis in children and adolescents: the ISCD 2007 Pediatric Official Positions
J Clin Densitom 2008, 11(1): 22–28
430. Rautava E, Lehtonen-Veromaa M, Möttönen T, Kautiainen H, Heinonen OJ, Viikari J. Association of Reduced Physical Activity and Quantitative Ultrasound Measurements: A 6-Year Follow-up Study of Adolescent Girls
Calcif Tissue Int 2006, 79(1): 50–56
431. Reid IR. Relationships between fat and bone
Osteoporos Int 2008, 19(5): 595–606
432. Reginster J, Burlet N. Osteoporosis: A still increasing prevalence
Bone 2006, 38(2), 4–9
433. Ribeiro RR, Guerra-Junior G, Azevedo Barros-Filho A de. Bone mass in schoolchildren in Brazil: the effect of racial miscegenation, pubertal stage, and socioeconomic differences
J Bone Miner Metab 2009, 27(4): 494–501
434. Rideout CA, McKay HA, Barr SI. Self-Reported Lifetime Physical Activity and Areal Bone Mineral Density in Healthy Postmenopausal Women: The Importance of Teenage Activity
Calcif Tissue Int 2006, 79(4): 214–222
435. Rizzoli R. Dairy products, yogurts, and bone health
Am J Clin Nutr 2014, 99(5 Suppl): 1256S–1262S
436. Rizzoli R, Bonjour JP, Chevalley T. Dietary protein and bone mass accrual, S. 1–8
In: Peter Burckhardt, Bess Dawson-Hughes und Connie Weaver (Hg.) *Nutritional influences on bone health*. Springer, Dordrecht, New York, 2010
437. RKI (Robert Koch-Institut). Was essen wir heute? Ernährungsverhalten in Deutschland Beträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes, Berlin, Robert Koch-Institut, 2002
http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsB/was_essen_wir_heute.pdf?__blob=publicationFile (Abruf: 01.11.2014)

438. RKI (Robert Koch-Institut). Kinder- und Jugendgesundheitssurvey 2003-2006. Public Use File KiGGS03_06. Dokumentation des Datensatzes. Hg. v. FG 21 - Epidemiologisches Datenzentrum. Robert Koch-Institut, Berlin, Dezember/2008
439. RKI (Robert Koch-Institut). Migration und Gesundheit. Schwerpunktbericht zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes, Berlin, Robert Koch-Institut, 2008
http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsT/migration.pdf?__blob=publicationFile (Abruf: 01.11.2014)
440. RKI (Robert Koch-Institut). Gesundheitliche Ungleichheit bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland. Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes, Berlin, Robert Koch-Institut, 2010
http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsB/soz_ungleichheit_kinder.pdf?__blob=publicationFile (Abruf: 01.11.2014)
441. RKI (Robert Koch-Institut). Daten und Fakten: Ergebnisse der Studie "Gesundheit in Deutschland aktuell 2010". Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes, Berlin, Robert Koch-Institut, 2012
http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsB/GEDA2010.pdf;jsessionid=4A521F39D1A881A84AB14F13FE478AE0.2_cid381?__blob=publicationFile (Abruf: 01.11.2014)
442. Robinson ML, Winters-Stone K, Gabel K, Dolny D. Modifiable lifestyle factors affecting bone health using calcaneus quantitative ultrasound in adolescent girls
Osteoporos Int 2007, 18(8): 1101–1107
443. Robling AG, Castillo AB, Turner CH. Biomechanical and molecular regulation of bone remodeling
Annu Rev Biomed Eng 2006, 8(1): 455–498
444. Rocher E, Chappard C, Jaffre C, Benhamou C, Courteix D. Bone mineral density in prepubertal obese and control children: relation to body weight, lean mass, and fat mass
J Bone Miner Metab 2008, 26(1): 73–78
445. Rockett HR, Wolf AM, Colditz GA. Development and reproducibility of a food frequency questionnaire to assess diets of older children and adolescents
J Am Diet Assoc 1995, 95(3): 336–340
446. Rozen GS, Rennert G, Dodiuk-Gad RP, Rennert HS, Ish-Shalom N, Diab G, Raz B, Ish-Shalom S. Calcium supplementation provides an extended window of opportunity for bone mass accretion after menarche
Am J Clin Nutr 2003, 78(5): 993–998
447. Rubin K, Schirduan V, Gendreau P, Sarfarazi M, Mendola R, Dalsky G. Predictors of axial and peripheral bone mineral density in healthy children and adolescents, with special attention to the role of puberty
J Pediatr 1993, 123(6): 863–870
448. Rubin LA, Hawker GA, Peltekova VD, Fielding LJ, Ridout R, Cole DE. Determinants of peak bone mass: clinical and genetic analyses in a young female Canadian cohort
J Bone Miner Res 1999, 14(4): 633–643
449. Sabatier JP, Guaydier-Souquières G, Laroche D, Benmalek A, Fournier L, Guillon-Metz F, Delavenne J, Denis AY. Bone mineral acquisition during adolescence and early adulthood: a study in 574 healthy females 10-24 years of age
Osteoporos Int 1996, 6(2): 141–148
450. Sachs L. Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden; mit 317 Tabellen und 99 Übersichten, 11., überarb. und aktualisierte Aufl., Berlin [u.a.], Springer, 2003

451. Sahni S, Cupples LA, Mclean RR, Tucker KL, Broe KE, Kiel DP, Hannan MT. Protective effect of high protein and calcium intake on the risk of hip fracture in the framingham offspring cohort
J Bone Miner Res 2010, 25(12): 2770–2776
452. Sallis JF, Saelens BE. Assessment of physical activity by self-report: status, limitations, and future directions
Res Q Exerc Sport 2000, 71(2 Suppl): S1-14
453. Sambrook P, Cooper C. Osteoporosis
Lancet 2006, 367(9527):2010–201851. Sawyer A, Moore S, Fielding KT, Nix DA, Kiratli J, Bachrach LK. Calcaneus ultrasound measurements in a convenience sample of healthy youth
J Clin Densitom 2001, 4(2): 111–120
454. Sayers A, Tobias JH. Fat Mass Exerts a Greater Effect on Cortical Bone Mass in Girls than Boys
J Clin Endocrinol Metab 2010, 95(2): 699–706
455. Schaefer F, Georgi M, Zieger A, Schäfer K. Usefulness of bioelectric impedance and skinfold measurements in predicting fat-free mass derived from total body potassium in children
Pediatr Res 1994, 35(5): 617–624
456. Scheidt-Nave C. Die sozioökonomische Bedeutung der Osteoporose
Bundesgesundheitsbl 2001, 44: 41-51
457. Scheidt-Nave C, Starker A. Osteoporoseprävalenz und assoziierte Versorgungsmuster bei Frauen im Alter ab 45 Jahren in Deutschland
Bundesgesundheitsbl 2005, 48(12): 1338–1347
458. Schenk L, Ellert U, Neuhauser H. Kinder und Jugendliche mit Migrationshintergrund in Deutschland. Methodische Aspekte im Kinder- und Jugendgesundheitsurvey (KiGGS)
Bundesgesundheitsbl 2007, 50(5-6): 590–599
459. Schnabel M, Eser G, Ziller V, Mann D, Mann E, Hadji P. Knochendichte bei postmenopausalen Frauen mit proximaler Femurfraktur
Zentralbl Chir 2005, 130(5): 469–475
460. Schoeller DA. Bioelectrical impedance analysis. What does it measure?
Ann N Y Acad Sci 2000, 904: 159–162
461. Schönau E. Problems of bone analysis in childhood and adolescence
Pediatr Nephrol 1998, 12(5): 420–429
462. Schoenau E. Bone Mass Increase in Puberty: What Makes It Happen?
Horm Res 2006, 65(2): 2–10
463. Schoenau E, Fricke O. Mechanical influences on bone development in children
European Journal of Endocrinology 2008, 159(suppl_1): S27
464. Schoenau E, Neu CM, Rauch F, Manz F. The development of bone strength at the proximal radius during childhood and adolescence
J Clin Endocrinol Metab 2001, 86(2): 613–618
465. Schroedter JH, Lechert Y, Lüttinger P. Die Umsetzung der Bildungsskala ISCED-1997 für die Volkszählung 1970, die Mikrozensus-Zusatzerhebung 1971 und die Mikrozensusen 1976-2004 (Version 1). ZUMA-Methodenbericht 2006/08. ZUMA, Mannheim
http://www.gesis.org/fileadmin/upload/forschung/publikationen/gesis_reihen/gesis_methodenberichte/2006/06_08_Schroedter.pdf (Abruf: 01.11.2014)
466. Seeman E. From density to structure: growing up and growing old on the surfaces of bone
J Bone Miner Res 1997, 12(4): 509–521

467. Seeman E. Osteoporosis in men
Osteoporos Int 1999, 9 Suppl 2: S97-S110
468. Segal KR, Gutin B, Presta E, Wang J, van Itallie TB. Estimation of human body composition by electrical impedance methods: a comparative study
J Appl Physiol 1985, 58(5): 1565–1571
469. Shils ME, Shike M (Hg.). Modern nutrition in health and disease, 10. Aufl., Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2006
470. Shizgal HM. Validation of the measurement of body composition from whole body bioelectric impedance
Infusionstherapie 1990, 17 Suppl 3: 67–74
471. Siervogel RM, Demerath EW, Schubert C, Remsberg KE, Chumlea WC, Sun S, Czerwinski SA, Towne B. Puberty and Body Composition
Horm Res 2003, 60(Suppl. 1): 36–45
472. Silverberg SJ, Shane E, Clemens TL, Dempster DW, Segre GV, Lindsay R, Bilezikian JP. The effect of oral phosphate administration on major indices of skeletal metabolism in normal subjects
J Bone Miner Res 1986, 1(4): 383–388
473. Slaughter MH, Lohman TG, Boileau RA, Horswill CA, Stillman RJ, van Loan MD, Bembien DA. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth
Hum Biol 1988, 60(5): 709–723
474. Sopher A, Shen W, Pietrobelli A. Pediatric body composition methods: 129–139
In: Steven B. Heymsfield, Timothy G. Lohman, ZiMian Wang und Scott B. Going (Hg.) Human body composition. Human Kinetics, Champaign, IL, 2nd, 2005
475. Specker B, Vukovich M. Evidence for an interaction between exercise and nutrition for improved bone health during growth
Med Sport Sci 2007, 51: 50–63
476. Spencer H, Kramer L, Osis D. Do protein and phosphorus cause calcium loss?
J Nutr 1988, 118(6): 657–660
477. Statistisches Bundesamt. Statistisches Jahrbuch 2011. Für die Bundesrepublik Deutschland mit «Internationalen Übersichten», Wiesbaden, Statistisches Bundesamt, 2011
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/StatistischesJahrbuch2011.pdf?__blob=publicationFile (Abruf: 01.11.2014)
478. Stear SJ, Prentice A, Jones SC, Cole TJ. Effect of a calcium and exercise intervention on the bone mineral status of 16-18-y-old adolescent girls
Am J Clin Nutr 2003, 77(4): 985–992
479. Stevens J, Metcalf PA, Dennis BH, Tell GS, Shimakawa T, Folsom AR. Reliability of a food frequency questionnaire by ethnicity, gender, age and education
Nutrition Research 1996, 16(5): 735–745
480. Stewart A, Reid DM. Precision of quantitative ultrasound: comparison of three commercial scanners
Bone 2000, 27(1): 139–143
481. Stolzenberg H, Kahl H, Bergmann KE. Körpermaße bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland
Bundesgesundheitsbl 2007, 50(5-6): 659–669
482. Storey KE, McCargar LJ. Reliability and validity of Web-SPAN, a web-based method for assessing weight status, diet and physical activity in youth
Journal of Human Nutrition and Dietetics 2012, 25(1): 59–68

483. Ström O, Borgström F, Zethraeus N, Johnell O, Lidgren L, Ponzer S, Svensson O, Abdon P, Ornstein E, Ceder L, Thorngren KG, Sernbo I, Jönsson B et al. Long-term cost and effect on quality of life of osteoporosis-related fractures in Sweden
Acta Orthop 2008, 79(2):269–280
484. Stronegger WJ, Freidl W, Rásky E. Health behaviour and risk behaviour: socioeconomic differences in an Austrian rural county
Soc Sci Med 1997, 44(3): 423–426
485. Strugnell C, Renzaho A, Ridley K, Burns C. Reliability of the modified child and adolescent physical activity and nutrition survey, physical activity (CAPANS-PA) questionnaire among Chinese-Australian youth
BMC Med Res Methodol 2011, 11: 122
486. Sundberg M, Gärdsell P, Johnell O, Ornstein E, Sernbo I. Comparison of quantitative ultrasound measurements in calcaneus with DXA and SXA at other skeletal sites: a population-based study on 280 children aged 11-16 years
Osteoporos Int 1998, 8(5): 410–417
487. Suprasongsin C, Kalhan S, Arslanian S. Determination of body composition in children and adolescents: validation of bioelectrical impedance with isotope dilution technique
J Pediatr Endocrinol Metab 1995, 8(2): 103–109
488. Svedbom A, Hernlund E, Ivergård M, Compston J, Cooper C, Stenmark J, McCloskey EV, Jönsson B, Kanis JA. Osteoporosis in the European Union: a compendium of country-specific reports
Arch Osteoporos 2013, 8(1-2): 137
489. Taes Y, Lapauw B, Vanbillemont G, Bogaert V, Bacquer D de, Goemaere S, Zmierzak H, Kaufman J. Early smoking is associated with peak bone mass and prevalent fractures in young, healthy men
J Bone Miner Res 2010, 25(2): 379–387
490. Tanner JM, Whitehouse RH. Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity, and stages of puberty
Arch Dis Child 1976, 51(3): 170–179
491. Tanner JM. *Wachstum und Reifung des Menschen*, Stuttgart, Thieme, 1962
492. Theintz G, Buchs B, Rizzoli R, Slosman D, Clavien H, Sizonenko PC, Bonjour JP. Longitudinal monitoring of bone mass accumulation in healthy adolescents: evidence for a marked reduction after 16 years of age at the levels of lumbar spine and femoral neck in female subjects
J Clin Endocrinol Metab 1992, 75(4): 1060–1065
493. Thiele S, Mensink GBM, Beitz R. Determinants of diet quality
PHN 2004, 7(01)
494. Thierfelder W, Dortsch R, Hintzpeter B, Kahl H, Scheidt-Nave C. Biochemische Messparameter im Kinder- und Jugendgesundheitssurvey (KiGGS)
Bundesgesundheitsbl 2007, 50(5-6): 757–770
495. Torun B, Davies PS, Livingstone MB, Paolisso M, Sackett R, Spurr GB. Energy requirements and dietary energy recommendations for children and adolescents 1 to 18 years old
Eur J Clin Nutr 1996, 50 Suppl 1: S37-80; discussion S80-81
496. Töyräs J, Kröger H, Jurvelin JS. Bone properties as estimated by mineral density, ultrasound attenuation, and velocity
Bone 1999, 25(6): 725–731

497. Troiano RP. Large-scale applications of accelerometers: new frontiers and new questions
Med Sci Sports Exerc 2007, 39(9): 1501
498. Truscott JG. Reference data for ultrasonic bone measurement: variation with age in 2087 Caucasian women aged 16-93 years
Br J Radiol 1997, 70(838): 1010–1016
499. Truthmann J, Mensink GBM, Richter A. Relative validation of the KiGGS Food Frequency Questionnaire among adolescents in Germany
Nutr J 2011, 10: 133
500. Tucker KL, Hannan MT, Kiel DP. The acid-base hypothesis: diet and bone in the Framingham Osteoporosis Study
Eur J Nutr 2001, 40(5): 231–237
501. Tucker KL, Morita K, Qiao N, Hannan MT, Cupples LA, Kiel DP. Colas, but not other carbonated beverages, are associated with low bone mineral density in older women: The Framingham Osteoporosis Study
Am J Clin Nutr 2006, 84(4): 936–942
502. Turner CH. Homeostatic control of bone structure: an application of feedback theory
Bone 1991, 12(3): 203–217
503. Tylavsky FA, Holliday K, Danish R, Womack C, Norwood J, Carbone L. Fruit and vegetable intakes are an independent predictor of bone size in early pubertal children
Am J Clin Nutr 2004, 79(2): 311–317
504. Tylavsky FA, Ryder KA, Lyytikäinen A, Cheng S. Vitamin D, parathyroid hormone, and bone mass in adolescents
J Nutr 2005, 135(11): 2735S–2738S
506. Tyndall A, Farpour-Lambert N, Hans D, Ceroni D, Rizzoli R, Kriemler S. Ultraschall statt Strahlen für junge Knochen
Schweiz Med Forum 2008, 8(21): 391–393
507. Uenishi K, Nakamura K. Intake of dairy products and bone ultrasound measurement in late adolescents: a nationwide cross-sectional study in Japan
Asia Pac J Clin Nutr 2010, 19(3): 432–439
508. UNESCO, 2006. International Standard Classification of Education (ISCED 1997), Re-edition. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization
<http://www.uis.unesco.org/Library/Documents/isced97-en.pdf> (Abruf: 01.11.2014)
509. U.S. Department of Health and Human Services. Bone Health and Osteoporosis. A Report of the Surgeon General. U.S. Department of Health and Human Services, Office of the Surgeon General, Rockville (MD), 2004
http://www.dslns.usra.edu/meetings/bonehealth_2005/SG_full_report.pdf (Abruf: 01.11.2014)
510. Välimäki V, Löyttyäniemi E, Välimäki MJ. Quantitative ultrasound variables of the heel in Finnish men aged 18–20 yr: predictors, relationship to bone mineral content, and changes during military service
Osteoporos Int 2006, 17(12): 1763–1771
511. van den Bergh JP, Noordam C, Ozyilmaz A, Hermus AR, Smals AG, Otten BJ. Calcaneal ultrasound imaging in healthy children and adolescents: relation of the ultrasound parameters BUA and SOS to age, body weight, height, foot dimensions and pubertal stage
Osteoporos Int 2000, 11(11): 967–976
512. Vatanparast H, Bailey DA, Baxter-Jones ADG, Whiting SJ. The effects of dietary protein on bone mineral mass in young adults may be modulated by adolescent calcium intake
J Nutr 2007, 137(12): 2674–2679

513. Vatanparast H, Baxter-Jones A, Faulkner RA, Bailey DA, Whiting SJ. Positive effects of vegetable and fruit consumption and calcium intake on bone mineral accrual in boys during growth from childhood to adolescence: the University of Saskatchewan Pediatric Bone Mineral Accrual Study
Am J Clin Nutr 2005, 82(3): 700–706
514. Vignolo M, Parodi A, Mascagni A, Torrisi C, De Terlizzi F, Aicardi G. Longitudinal assessment of bone quality by quantitative ultrasonography in children and adolescents
Ultrasound Med Biol 2006, 32(7): 1003–1010
516. Viljakainen HT, Natri A, Kärkkäinen M, Huttunen MM, Palssa A, Jakobsen J, Cashman KD, Mølgaard C, Lamberg-Allardt C. A Positive Dose-Response Effect of Vitamin D Supplementation on Site-Specific Bone Mineral Augmentation in Adolescent Girls: A Double-Blinded Randomized Placebo-Controlled 1-Year Intervention
J Bone Miner Res 2006, 21(6): 836–844
517. Viljakainen HT, Pekkinen M, Saarnio E, Karp H, Lamberg-Allardt C, Mäkitie O. Dual effect of adipose tissue on bone health during growth
Bone 2011, 48(2): 212–217
518. Wabitsch M, Koletzko B, Moß A. Vitamin-D-Versorgung im Säuglings-, Kindes- und Jugendalter
Monatsschr Kinderheilkd 2011, 159(8): 766–774
519. Waijers PMCM, Feskens EJM, Ocké MC. A critical review of predefined diet quality scores
BJN 2007, 97(2): 219
520. Wang Q, Nicholson PHF, Timonen J, Alen M, Moilanen P, Suominen H, Cheng S. Monitoring bone growth using quantitative ultrasound in comparison with DXA and pQCT
J Clin Densitom 2008, 11(2): 295–301
521. Wang ZM, Pierson RN, Heymsfield SB. The five-level model: a new approach to organizing body-composition research
Am J Clin Nutr 1992, 56(1): 19–28
522. Walsh JS, Henry YM, Fatayerji D, Eastell R. Lumbar spine peak bone mass and bone turnover in men and women: a longitudinal study
Osteoporos Int 2009, 20(3): 355–362
523. Warholm L, Petersen KR, Ravn P. Combined oral contraceptives' influence on weight, body composition, height, and bone mineral density in girls younger than 18 years: a systematic review
Eur J Contracept Reprod Health Care 2012, 17(4): 245–253
524. Watson JF, Collins CE, Sibbritt DW, Dibley MJ, Garg ML. Reproducibility and comparative validity of a food frequency questionnaire for Australian children and adolescents
Int J Behav Nutr Phys Act 2009, 6(1): 62
525. Weaver CM. Vitamin D and calcium metabolism in adolescents
International Congress Series 2007, 1297: 32–38
526. Weber M. Wirtschaft und Gesellschaft. Grundriss der verstehenden Soziologie, 5., rev. Aufl., Studienausg., Tübingen, Mohr, 1972
527. Weiler HA, Janzen L, Green K, Grabowski J, Seshia MM, Yuen KC. Percent body fat and bone mass in healthy Canadian females 10 to 19 years of age
Bone 2000, 27(2): 203–207
528. Welk GJ, Wickel E, Peterson M, Heitzler CD, Fulton JE, Potter LD. Reliability and validity of questions on the youth media campaign longitudinal survey
Med Sci Sports Exerc 2007, 39(4): 612–621

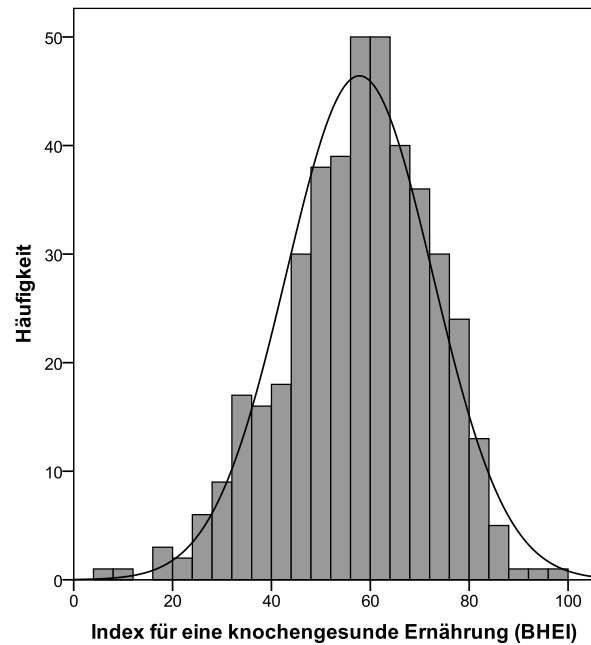
529. Welten DC, Kemper HC, Post GB, van Mechelen W, Twisk J, Lips P, Teule GJ. Weight-bearing activity during youth is a more important factor for peak bone mass than calcium intake
J Bone Miner Res 1994, 9(7): 1089–1096
530. Wetter AC, Economos CD. Relationship between quantitative ultrasound, anthropometry and sports participation in college aged adults
Osteoporos Int 2004, 15(10): 799–806
531. Whiting SJ, Healey A, Psiuk S, Mirwald R, Kowalski K, Bailey DA. Relationship between carbonated and other low nutrient dense beverages and bone mineral content of adolescents
Nutr Res 2001, 21(8): 1107–1115
532. Whittle CR, Woodside JV, Cardwell CR, McCourt HJ, Young IS, Murray LJ, Boreham CA, Gallagher AM, Neville CE, McKinley MC. Dietary patterns and bone mineral status in young adults: the Northern Ireland Young Hearts Project
Br J Nutr 2012, 108(08): 1494–1504
533. WHO (World Health Organization). Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation.
WHO technical report series 724, Geneva, World Health Organization, 1985
534. WHO (World Health Organization). Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. Report of a WHO Study Group
WHO technical report series 843, Geneva, World Health Organization, 1994
http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_843.pdf (Abruf: 01.11.2014)
535. WHO (World Health Organization). Physical status: The use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Committee
WHO technical report series 854, Geneva, World Health Organization, 1995
http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_854.pdf (Abruf: 01.11.2014)
536. WHO (World Health Organization). Promoting Health through schools. Report of a WHO Expert Committee
WHO technical report series 870, Geneva, World Health Organization, 1997
http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_870.pdf (Abruf: 01.11.2014)
537. WHO (World Health Organization). Prevention and management of osteoporosis. Report of a WHO Scientific Group
WHO technical report series 921, Geneva, World Health Organization, 2003
http://whqlibdoc.who.int/trs/who_trs_921.pdf (Abruf: 01.11.2014)
538. WHO. Global recommendations on physical activity for health, Geneva, Switzerland, World Health Organization, 2010
http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599979_eng.pdf?ua=1 (Abruf: 01.11.2014)
539. Whybro A, Jagger H, Barker M, Eastell R. Phosphate supplementation in young men: lack of effect on calcium homeostasis and bone turnover
Eur J Clin Nutr 1998, 52(1): 29–33
540. Willett AM. Vitamin D status and its relationship with parathyroid hormone and bone mineral status in older adolescents
Proc Nutr Soc 2005, 64(2): 193–203
541. Willett W. Nutritional epidemiology
Monographs in epidemiology and biostatistics 30, 2nd, New York, Oxford University Press, 1998
542. Winzenberg TM, Powell S, Shaw KA, Jones G. Vitamin D supplementation for improving bone mineral density in children
Cochrane Database Syst Rev 2010(10): CD006944

543. Winzenberg TM, Shaw K, Fryer J, Jones G. Calcium supplementation for improving bone mineral density in children
Cochrane Database Syst Rev 2006(2): CD005119
544. Witzke KA, Snow CM. Lean body mass and leg power best predict bone mineral density in adolescent girls
Med Sci Sports Exerc 1999, 31(11): 1558–1563
545. Witzke KA, Snow CM. Effects of plyometric jump training on bone mass in adolescent girls
Med Sci Sports Exerc 2000, 32(6): 1051–1057
546. Wong SL, Leatherdale ST, Manske SR. Reliability and validity of a school-based physical activity questionnaire
Med Sci Sports Exerc 2006, 38(9): 1593–1600
547. Wosje KS, Khoury PR, Claytor RP, Copeland KA, Hornung RW, Daniels SR, Kalkwarf HJ. Dietary patterns associated with fat and bone mass in young children
Am J Clin Nutr 2010, 92(2): 294–303
548. Wu CY, Glüer CC, Jergas M, Bendavid E, Genant HK. The impact of bone size on broadband ultrasound attenuation
Bone 1995, 16(1): 137–141
549. Wünsche K, Wünsche B, Fähnrich H, Mentzel H, Vogt S, Abendroth K, Kaiser WA. Ultrasound Bone Densitometry of the Os Calcis in Children and Adolescents
Calcified Tissue International 2000, 67(5): 349–355
550. Wyshak G. Teenaged girls, carbonated beverage consumption, and bone fractures
Arch Pediatr Adolesc Med 2000, 154(6): 610–613
551. Yesil P, Durmaz B, Atamaz FC. Normative Data for Quantitative Calcaneal Ultrasonometry in Turkish Children Aged 6 to 14 Years: Relationship of the Stiffness Index With Age, Pubertal Stage, Physical Characteristics, and Lifestyle
Journal of Ultrasound in Medicine 2013, 32(7): 1191–1197
552. Zadik Z, Price D, Diamond G. Pediatric reference curves for multi-site quantitative ultrasound and its modulators
Osteoporosis International 2003, 14(10): 857–862
553. Zagarins SE, Ronnenberg AG, Gehlbach SH, Lin R, Bertone-Johnson ER. Are existing measures of overall diet quality associated with peak bone mass in young premenopausal women?
J Hum Nutr Diet 2012, 25(2): 172–179
554. Zarowitz BJ, Pilla AM. Bioelectrical impedance in clinical practice
DICP 1989, 23(7-8): 548–555
555. Zemel MB. Calcium utilization: effect of varying level and source of dietary protein
Am J Clin Nutr 1988, 48(3 Suppl): 880–883
556. Zemel B, Bass S, Binkley T, Ducher G, Macdonald H, McKay H, Moyer-Mileur L, Shepherd J, Specker B, Ward K, Hans D. Peripheral Quantitative Computed Tomography in Children and Adolescents: The 2007 ISCD Pediatric Official Positions
J Clin Densitom 2008, 11(1): 59–74
557. Zemel MB, Linkswiler HM. Calcium metabolism in the young adult male as affected by level and form of phosphorus intake and level of calcium intake
J Nutr 1981, 111(2): 315–324
558. Zhu Z, Liu W, Xu C, Han S, Zu S, Zhu G. Ultrasound bone densitometry of the calcaneus in healthy Chinese children and adolescents
Osteoporos Int 2007, 18(4): 533–541

559. Ziglar S, Hunter TS. The effect of hormonal oral contraception on acquisition of peak bone mineral density of adolescents and young women
J Pharm Pract 2012, 25(3): 331–340

Anhang

A 3-1 Histogramm des Index für eine knochengesunde Ernährung (BHEI)



Die BHEI-Werte sind: Mittelwert, 57,8; Standardabweichung, 14,8; Median, 59,1; 10. Perzentile, 37,7; 25. Perzentile, 48,4; 75. Perzentile, 68,3; 90. Perzentile, 76,4; Minimum, 6,0; Maximum, 99,4.

A 3-2 Zuordnung der sonstigen Aktivitäten zu bereits vorhandenen Kategorien

Sonstige Aktivitäten	Zuordnung zu
Aerobic	Mittlere sportliche Aktivität
Atemgymnastik	Leichte sportliche Aktivität
Badminton	Mittlere sportliche Aktivität
Dart	Gehen
Landwirtschaft	Schwere sportliche Aktivität
Judo/Karate	Mittlere sportliche Aktivität
Kickboxen	Mittlere sportliche Aktivität
Freibad	Leichte sportliche Aktivität
Voltigieren	Leichte sportliche Aktivität
Musikinstrumente spielen, Singen	Fällt weg
Feuerwehr	Mittlere sportliche Aktivität
Trampolin	Leichte sportliche Aktivität
Fitness / Krafttraining	Mittlere sportliche Aktivität
Tauchen	Mittlere sportliche Aktivität
Speed Skating	Mittlere sportliche Aktivität
Ballett	Mittlere sportliche Aktivität
Turnen	Schwere sportliche Aktivität
Basteln	Fällt weg
Fechten	Mittlere sportliche Aktivität
Heimtrainer	Fahrrad fahren
Krankengymnastik/Physiotherapie/Rückenschule	Leichte sportliche Aktivität
Leichtathletik	Schwere sportliche Aktivität
Prellball	Schwere sportliche Aktivität
Qi Gong	Leichte sportliche Aktivität
(Bogen)-Schießen	Gehen
Zeitung austragen	Gehen
Segeln	Gehen
Squash	Mittlere sportliche Aktivität
Tai Chi	Mittlere sportliche Aktivität
Tischtennis	Mittlere sportliche Aktivität
Xbox 360	Spielkonsole
Eislaufen	Mittlere sportliche Aktivität
Pfadfinder	Gehen
Boxen	Schwere sportliche Aktivität
Motocross	Rad fahren
Schulsport	Leichte sportliche Aktivität
Waveboard	Leichte sportliche Aktivität
Parkour	Mittlere sportliche Aktivität
Skaten	Mittlere sportliche Aktivität
Waldarbeit	Schwere sportliche Aktivität
Golf	Leichte sportliche Aktivität
Rudern	Schwere sportliche Aktivität
Leichtathletik	Schwere sportliche Aktivität
Kegeln	Leichte sportliche Aktivität
Eisstockschießen	Leichte sportliche Aktivität
Zirkus	Leichte sportliche Aktivität
Klettern	Schwere sportliche Aktivität
Baseball	Schwere sportliche Aktivität

A 3-3 Überprüfung der Normalverteilung der Daten

Variable	Normalverteilung		Varianzhomogenität
	Schüler	Schülerinnen	Schüler vs. Schülerinnen
Alter [Jahre]	nein	nein	-
Resistanz (R) [Ω]	ja	ja	nein
Reaktanz (Xc) [Ω]	ja	ja	nein
Fettfreie Masse [kg] ¹	nein	ja	nein
Fettfreie Masse [%] ¹	ja	nein	nein
Fettmasse [kg] ¹	nein	nein	-
Fettmasse [%] ¹	ja	nein	nein
Körpergewicht [kg]	ja	ja	ja
Körpergröße [m]	ja	ja	nein
Body Mass Index (BMI) [kg/m^2]	ja	nein	nein
Breitbandultraschall-Abschwächung (BUA) [dB/Hz]	nein	nein	-
Ultraschall-Geschwindigkeit (SOS) [m/s]	nein	ja	ja
Steifigkeitsindex	nein	nein	-
Physical Activity Level (PAL)	nein	nein	-
Aufenthaltsdauer im Freien [h/d]	nein	nein	-
Pubertal development scale (PDS)	nein	nein	-
Milch und Milchprodukte [g/d]	nein	nein	-
Brot [g/d]	nein	nein	-
Fleisch- und Wurstwaren [g/d]	nein	nein	-
Fisch [g/d]	nein	nein	-
Obst und Gemüse [g/d]	nein	nein	-
Süßigkeiten [g/d]	nein	nein	-
Knabberartikel [g/d]	nein	nein	-
Limonade [mL/d]	nein	nein	-
Kaffee, schwarzer und grüner Tee [mL/d]	nein	nein	-
Index für eine knochengesunde Ernährung (BHEI)	ja	ja	nein

¹ berechnet nach Plachta-Danielzik et al. (2012)

A 4-1 Anzahl Schüler und Schülerinnen nach Klassenstufen

Klasse	Schüler (n= 232)		Schülerinnen (n= 251)	
	Anzahl	Anteil [%]	Anzahl	Anteil [%]
5.	43	18,5	53	21,1
6.	40	17,2	60	23,9
7.	44	19,0	39	15,5
8.	51	22,0	34	1
9.	41	17,7	37	14,7
10.	13	5,6	28	11,2

A 4-2 Altersklassen der Schüler und Schülerinnen

Altersklasse [J]	Schüler (n = 232)		Schülerinnen (n = 251)	
	Anzahl	Anteil [%]	Anzahl	Anteil [%]
10,0-10,9	15	6,5	21	8,4
11,0-11,9	43	18,5	58	23,1
12,0-12,9	30	12,9	46	18,3
13,0-13,9	42	18,1	33	13,1
14,0-14,9	45	19,4	30	12,0
15,0-15,9	38	16,4	36	14,3
16,0-16,9	16	6,9	26	10,4
17,0-17,9	3	1,3	1	0,4

A 4-3 Migrationshintergrund nach Bildungsstand

	Bildungsstand					
	Schüler			Schülerinnen		
Migrations- hintergrund	Niedrig (n = 134)	Mittel (n = 44)	Hoch (n = 49)	Niedrig (n = 143)	Mittel (n = 39)	Hoch (n = 67)
Vorhanden [%]	19,8	16,3	8,2	20,0	23,7	4,5

Angegebene Werte: relative Häufigkeiten

A 4-4 Körpergewicht der Schüler und Schülerinnen nach Altersklasse

Altersklassen [J] (Anzahl Schüler/Schülerinnen)	Körpergewicht [kg]	
	Schüler	Schülerinnen
10,0-10,9 (15/21)	38,4 ± 8,3	37,4 ± 9,7
11,0-11,9 (43/58)	38,5 ± 7,3	43,8 ± 10,4 *
12,0-12,9 (30/46)	41,7 ± 9,1	46,1 ± 9,6 *
13,0-13,9 (42/33)	50,7 ± 11,1	54,3 ± 12,7
14,0-14,9 (45/30)	58,7 ± 11,1	61,4 ± 19,3
15,0-15,9 (38/36)	61,0 ± 8,5	59,1 ± 12,0
16,0-16,9 (16/26)	66,3 ± 9,1	60,9 ± 14,5 *
17,0-17,9 (3/1)	73,5 ± 2,0	60,4

Angegebene Werte: MW ± SD

* = p < 0,05 (U-Test nach Mann-Whitney)

A 4-5 Körpergröße der Schüler und Schülerinnen nach Alter

Altersklasse [J] (Anzahl Schüler/Schülerinnen)	Körpergröße [cm]	
	Schüler	Schülerinnen
10,0-10,9 (15/21)	144 ± 8	145 ± 6
11,0-11,9 (43/58)	148 ± 8	152 ± 9 *
12,0-12,9 (30/46)	153 ± 8	157 ± 8
13,0-13,9 (42/33)	160 ± 8	163 ± 7
14,0-14,9 (45/30)	170 ± 8	163 ± 6 **
15,0-15,9 (38/36)	174 ± 6	165 ± 6 ***
16,0-16,9 (16/26)	173 ± 10	165 ± 8 *
17,0-17,9 (3/1)	174 ± 12	166

Angegebene Werte: MW ± SD

* = p < 0,05, ** = p < 0,01, *** = p < 0,001 (U-Test nach Mann-Whitney)

A 4-6 Fettfreie Masse der Schüler und Schülerinnen nach Alter

Altersklasse [J] (Anzahl Schüler/Schülerinnen)	Fettfreie Masse [kg]	
	Schüler	Schülerinnen
10,0-10,9 (14/20)	29,9 ± 3,9	28,0 ± 5,1
11,0-11,9 (41/57)	31,8 ± 4,1	33,0 ± 5,1
12,0-12,9 (29/46)	33,4 ± 5,5	34,9 ± 4,7
13,0-13,9 (41/33)	39,7 ± 6,5	39,9 ± 5,5
14,0-14,9 (44/30)	47,8 ± 7,2	42,9 ± 7,3 **
15,0-15,9 (38/36)	51,6 ± 5,5	42,4 ± 4,4 ***
16,0-16,9 (16/26)	54,2 ± 6,0	43,0 ± 5,3 ***
17,0-17,9 (3/1)	58,1 ± 4,7	42,2

Angegebene Werte: MW ± SD

** = p < 0,01, *** = p < 0,001 (U-Test nach Mann-Whitney)

A 4-7 Fettmasse der Schüler und Schülerinnen nach Alter

Altersklasse [J] (Anzahl Schüler/Schülerinnen)	Fettmasse [kg]	
	Schüler	Schülerinnen
10,0-10,9 (14/20)	9,3 ± 4,6	9,1 ± 5,2
11,0-11,9 (41/57)	7,6 ± 3,5	11,1 ± 5,9 **
12,0-12,9 (29/46)	8,2 ± 5,1	11,2 ± 5,8 **
13,0-13,9 (41/33)	11,2 ± 6,2	14,4 ± 8,0
14,0-14,9 (44/30)	10,9 ± 6,4	18,5 ± 12,7 ***
15,0-15,9 (38/36)	9,4 ± 4,5	16,7 ± 8,7 ***
16,0-16,9 (16/26)	12,1 ± 6,2	17,9 ± 10,8 **
17,0-17,9 (3/1)	15,4 ± 2,8	18,2

Angegebene Werte: MW ± SD

** = p < 0,01, *** = p < 0,001 (U-Test nach Mann-Whitney)

A 4-8 Prozentualer Anteil der fettfreien Masse am Körpergewicht nach Alter

Altersklasse [J] (Anzahl Schüler/Schülerinnen)	Fettfreie Masse [%]	
	Schüler	Schülerinnen
10,0-10,9 (14/20)	77,5 ± 6,8	77,1 ± 7,7
11,0-11,9 (41/57)	81,2 ± 6,0	76,3 ± 7,4 **
12,0-12,9 (29/46)	81,2 ± 7,1	76,9 ± 7,1 **
13,0-13,9 (41/33)	79,1 ± 7,8	75,2 ± 8,5
14,0-14,9 (44/30)	82,2 ± 7,1	72,0 ± 8,6 ***
15,0-15,9 (38/36)	85,1 ± 5,1	73,2 ± 8,1 ***
16,0-16,9 (16/26)	82,3 ± 6,9	72,1 ± 7,6 ***
17,0-17,9 (3/1)	79,0 ± 4,2	69,9

Angegebene Werte: MW ± SD

** = p < 0,01, *** = p < 0,001 (U-Test nach Mann-Whitney)

A 4-9 Lebensmittelverzehr der Schüler und Schülerinnen

Lebensmittelgruppe [g/d bzw. mL/d] und BHEI	Schüler (n = 231) ¹	Schülerinnen (n = 249) ¹	Empfehlung FKE [g/d bzw. mL/d]
Milch und Milchprodukte	214 (25, 1180)	205 (22, 1210)	420-500
Brot	100 (11, 600)	56 (11, 375) ***	250-300
Fleisch und Wurstwaren	98 (7, 495)	42 (2, 244) ***	60-85
Fisch	6 (0, 75)	2 (0, 39) ***	90-100
Obst	118 (0, 900)	150 (8, 900) **	250-350
Gemüse	69 (0, 619)	108 (7, 688) **	250-350
Süßigkeiten	23 (2, 226)	23 (1, 226)	220-310 kcal/d
Knabberartikel	11 (0, 250)	5 (0, 100) **	
Limonaden	200 (2, 2700)	86 (0, 1500) ***	
Kaffee, schwarzer und grüner Tee	1 (0, 450)	5 (0, 450)	-
BHEI	57 (28, 80)	60 (35, 80) *	-

Angegebene Werte: Median (5. Perzentil, 95. Perzentil)

¹ Von der Analyse wurde 1 Junge und 2 Mädchen (insgesamt 0,6 %) ausgeschlossen, da entweder mehr als die Hälfte der Antworten zum Lebensmittelverzehr fehlten bei mehr als der Hälfte der Antwortmöglichkeiten jeweils die höchste Kategorie („öfter als 5 mal am Tag“ und „2 Portionen oder mehr“) angegeben wurde.

* = p < 0,05, ** = p < 0,01, *** = p < 0,001 (U-Test nach Mann-Whitney)

A 4-10 Verzehrhäufigkeiten der verschiedenen Lebensmittelgruppen der Schüler und Schülerinnen nach Geschlecht

Lebensmittel	Geschlecht	Verzehrhäufigkeiten [%]				
		Nie	1- bis 3-mal/Monat	1- bis 6-mal/Woche	täglich	Mehrmals täglich
Milch und Milchprodukte	m (n = 228)	0,4	7,5	37,3	29,8	25,0
	w (n = 246)	1,6	7,3	37,0	32,5	21,5
Käse	m (n = 230)	23,0	20,9	33,0	13,9	9,1
	w (n = 249)	10,4	15,3	42,2	20,9	11,2
Frischkäse	m (n = 230)	46,5	18,3	24,8	7,8	2,6
	w (n = 249)	38,2	16,9	33,3	8,8	2,8
Brot	m (n = 231)	0,4	1,3	28,1	25,5	44,6
	w (n = 249)	0--	1,6	31,7	27,3	39,4
Fleisch	m (n = 231)	2,2	10,0	58,0	16,9	13,0
	w (n = 250)	7,2	18,0	62,8	8,4	3,6
Wurst	m (n = 231)	6,9	7,8	40,3	25,1	19,9
	w (n = 250)	8,8	10,0	47,8	22,5	10,8
Fisch	m (n = 231)	32,5	35,5	29,0	1,3	1,7
	w (n = 250)	43,2	36,0	19,6	1,2	0
Obst	m (n = 231)	5,2	9,5	41,1	23,4	20,8
	w (n = 250)	1,6	2,0	41,6	25,2	29,6
Gemüse	m (n = 228)	7,0	11,8	46,5	26,3	8,3
	w (n = 247)	2,0	6,1	49,8	26,7	15,4
Süßigkeiten	m (n = 231)	3,5	5,2	47,6	23,4	20,3
	w (n = 248)	0,8	8,1	49,6	19,8	21,8
Knabberartikel	m (n = 231)	10,4	25,1	48,5	8,7	7,4
	w (n = 250)	11,2	31,2	42,0	10,8	4,8
Limonaden	m (n = 230)	4,8	15,2	42,6	10,4	27,0
	w (n = 249)	8,8	24,1	40,2	8,4	18,5
Kaffee, schwarzer und grüner Tee	m (n = 230)	49,1	18,7	15,2	10,9	6,1
	w (n = 247)	42,5	19,8	19,4	9,7	8,5

Angegebene Werte: relative Häufigkeiten, J = Jungen, M = Mädchen

A 4-11 Mittleres Alter für den Pubertätsstatus, Menarche und Mutation der Schüler und Schülerinnen

		Pubertätsstufe (Anzahl Schüler/Schülerinnen)						
		PH1 (18/6)	PH2 (37/20)	PH3 (64/32)	PH4 (55/99)	PH5 (3/18)	Mutation (130)	Menarche (135)
Alter [J]	m	11,3 ± 0,7	12,0 ± 1,0	13,4 ± 1,4	15,1 ± 1,0	15,8 ± 0,8	13,0 ± 1,1	-
	w	10,9 ± 0,6	11,2 ± 0,5	11,6 ± 0,9	14,2 ± 1,4	15,9 ± 0,9	-	12,2 ± 1,2

Angegebene Werte: MW ± SD

A 4-12 Aufenthaltsdauer im Freien der Schüler und Schülerinnen nach Bildungshintergrund

		Bildungshintergrund (Anzahl Schüler/Schülerinnen)		
		Niedrig (121/137)	Mittel (n = 41/36)	Hoch (n = 41/61)
Aufenthaltsdauer im Freien [h/d]	Schüler ¹	3,7 ± 1,9	3,7 ± 1,6	4,1 ± 2,0
	Schülerinnen ¹	3,6 ± 1,8	3,2 ± 1,6	3,4 ± 1,9

Angegebene Werte: MW ± SD

¹ H-Test nach Kruskal-Wallis: n. s.

A 4-13 Aufenthaltsdauer im Freien der Schüler und Schülerinnen nach Migrationshintergrund

		Migrationshintergrund (Anzahl Schüler/Schülerinnen)	
		Nicht vorhanden (n = 167/196)	Vorhanden (n = 35/35)
Aufenthaltsdauer im Freien [h/d]	Schüler ¹	3,8 ± 1,9	3,7 ± 1,3
	Schülerinnen ¹	3,4 ± 1,7	3,9 ± 2,1

Angegebene Werte: MW ± SD

¹ U-Test nach Mann-Whitney: n. s.

A 4-14 Rauchstatus der Schüler und Schülerinnen nach Bildungshintergrund

	Bildungshintergrund					
	Schüler			Schülerinnen		
Rauchstatus [%]	Niedrig (n = 134)	Mittel (n = 44)	Hoch (n = 49)	Niedrig (n = 143)	Mittel (n = 39)	Hoch (n = 67)
Nichtraucher	94,0	95,5	93,9	90,2	87,2	94,0
Raucher	6,0	4,5	6,1	9,8	12,8	6,0
Chi-Quadrat- Test	n. s.			n. s.		

Angegebene Werte: relative Häufigkeiten

A 4-15 Gesundheitszustand der Schüler und Schülerinnen

(Anzahl Schüler/Schülerinnen/Gesamt)	Schüler		Schülerinnen	
	Anzahl	Anteil [%]	Anzahl	Anteil [%]
Erkrankungen (230/251/485) ¹				
ADHS	4	1,7	2	0,8
Allergien	11	4,8	3	1,2
Heuschnupfen	16	6,8	0	0
Asthma bronchiale	2	0,8	2	0,8
Atopisches Ekzem (Neurodermitis)	1	0,4	3	1,2
Erkrankungen des Gastrointestinaltraktes	2	0,8	1	0,4
Schilddrüsenerkrankung	1	0,4	4	1,6
Sonstige Erkrankungen	13	5,7	14	5,6
Frakturen	63	26,9	55	21,9
Frakturen (61/55/116) ²				
Obere Extremitäten	36	59,0	33	60,0
Untere Extremitäten	9	14,8	9	16,4
Obere und untere Extremitäten	3	4,9	3	5,5
Oberkörper	6	9,8	5	9,1
Schädel/Gesicht	2	3,3	2	3,6
sonstige	5	8,2	3	5,5
Regelmäßige Arzneimittelanwendung (230/251/485) ¹				
Medikinet, Ritalin, Equasym (Methylphenidat)	7	3,0	1	0,4
Antihistaminika (Cetirizin)	3	1,3	0	0
Tyroxin, Iod	3	1,3	7	2,8
Homöopathische Medikamente	1	0,4	2	0,8
Sonstige	4	1,7	2	0,8
Kontrazeptiva (Anti-Baby-Pille)	--	--	16	6,4
Vitamin D-Einnahme im ersten Lebensjahr(158/164/322) ³				
Regelmäßig	93	58,9	105	64,0
Oft	23	14,6	15	9,1
Selten	12	7,6	9	5,5
Nie	30	19,0	35	21,3

¹ Mehrfachantworten

² Die Häufigkeit der aufgetretenen Frakturen bezieht sich nur auf die Schüler und Schülerinnen, die angeben, jemals eine Fraktur gehabt zu haben.

³ Da die Frage zur Vitamin D-Einnahme im ersten Lebensjahr nachträglich in den Fragebogen aufgenommen wurde, fehlen bei 76 Jungen und bei 87 Mädchen (insgesamt 33,5 %) dazu Angaben.

A 4-16 Gesundheitszustand der Schüler und Schülerinnen nach Bildungshintergrund

	Bildungshintergrund					
	Schüler			Schülerinnen		
	Niedrig (n = 134)	Mittel (n = 44)	Hoch (n = 49)	Niedrig (n = 143)	Mittel (n = 39)	Hoch (n = 67)
Erlittene Frakturen [%]	25,4	31,8	28,6	19,6	28,2	23,9
Chi-Quadrat-Test	n. s.			n. s.		
Vitamin D-Einnahme im ersten Lebensjahr [%]						
Regelmäßig	60,2	53,1	61,9	64,7	47,6	70,0
Oft	13,6	21,9	9,5	8,8	9,5	10,0
Selten	4,9	12,5	9,5	6,9	9,5	0
Nie	21,4	12,5	19,0	19,6	33,3	20,0
Chi-Quadrat-Test	n. s.			n. s.		

Angegebene Werte: relative Häufigkeiten

A 4-17 Gesundheitszustand der Schüler und Schülerinnen nach Migrationshintergrund

	Migrationshintergrund			
	Schüler		Schülerinnen	
	Nicht vorhanden (n = 190)	Vorhanden (n = 38)	Nicht vorhanden (n = 206)	Vorhanden (n = 40)
Erlittene Frakturen [%]	28,4	21,1	23,8	15,0
Chi-Quadrat-Test	n. s.		n. s.	
Vitamin D-Einnahme im ersten Lebensjahr [%]				
Regelmäßig	61,9	50,0	64,5	63,6
Oft	14,3	10,7	8,7	4,5
Selten	6,3	14,3	5,8	4,5
Nie	17,5	25,0	21,0	27,3
Chi-Quadrat-Test	n. s.		n. s.	

A 4-18 Reproduzierbarkeit des Verzehrhäufigkeitsfragebogens nach Geschlecht

Lebensmittelgruppe (Anzahl Jungen/Mädchen)	Mittlere Verzehrmenge [g/d] der 1. Befragung (MW ± SD)		Mittlere Verzehrmenge [g/d] der 2. Befragung (MW ± SD)		Korrelationskoeffizient r nach Spearman	
	Jungen	Mädchen	Jungen	Mädchen	Jungen	Mädchen
Milch (99/88)	376 ± 460	328 ± 371	279 ± 333 [#]	198 ± 258 ^{###}	0,49	0,53
Käse (99/87)	19 ± 37	24 ± 40	17 ± 32	19 ± 34	0,73	0,69
Frischkäse (100/87)	8 ± 25	11 ± 26 ^{**}	6 ± 15	9 ± 19 ^{**}	0,66	0,70
Brot (98/85)	114 ± 125	97 ± 96	102 ± 139 [#]	77 ± 71	0,44	0,49
Fleisch (99/81)	110 ± 228	56 ± 104 [*]	81 ± 168	52 ± 86 [*]	0,47	0,46
Wurst (100/82)	39 ± 52	23 ± 44 ^{**}	27 ± 43 ^{##}	18 ± 25	0,67	0,63
Fisch (102/84)	16 ± 48	12 ± 35	12 ± 19	15 ± 51	0,45	0,67 [~]
Obst (99/83)	323 ± 530	282 ± 338	188 ± 316 ^{##}	234 ± 289 [*]	0,61	0,52
Gemüse (93/78)	100 ± 120	180 ± 324 [*]	113 ± 262	127 ± 156 [*]	0,38	0,57
Süßigkeiten (99/85)	76 ± 144	31 ± 45	69 ± 151	27 ± 38	0,66	0,47
Knabberartikel (99/86)	37 ± 102	15 ± 28	43 ± 130	12 ± 20	0,58	0,63
Limonade (99/84)	525 ± 889	271 ± 735 ^{**}	454 ± 858	230 ± 675 ^{**}	0,52	0,70
Kaffee, schwarzer und grüner Tee (102/82)	44 ± 92	81 ± 248	42 ± 92	96 ± 253 [*]	0,61	0,64
BHEI (92/75)	58 ± 14	61 ± 12 [*]	56 ± 14	61 ± 11	0,52	0,47

* = p < 0,05, ** = p < 0,01 (U-Test nach Mann-Whitney)

= p < 0,05, ## = p < 0,01, ### = p < 0,001 (Wilcoxon-Test)

Alle Korrelationen p < 0,001

~ = p < 0,05 (Fisher-Z-Transformation)

A 4-19 Reproduzierbarkeit des Verzehrhäufigkeitsfragebogens nach Altersgruppen

Lebensmittelgruppe (Anzahl in Altersgruppen)	Mittlere Verzehrmenge [g/d] der 1. Befragung			Mittlere Verzehrmenge [g/d] der 2. Befragung			Korrelationskoeffizient r nach Spearman		
	10 bis 12 Jahre	13 bis 14 Jahre	15 bis 17 Jahre	10 bis 12 Jahre	13 bis 14 Jahre	15 bis 17 Jahre	10 bis 12 Jahre	13 bis 14 Jahre	15 bis 17 Jahre
Milch(86/72/29)	372 ± 461	374 ± 412	242 ± 286	273 ± 355 [#]	243 ± 271 ^{##}	140 ± 149 [#]	0,47	0,49	0,67
Käse (86/71/29)	21 ± 44	23 ± 34	19 ± 29	18 ± 34	21 ± 37	10 ± 13 ^{##}	0,75	0,72	0,48 ~
Frischkäse (87/72/28)	12 ± 35	6 ± 11	7 ± 17	11 ± 23	5 ± 9	2 ± 4	0,68	0,78	0,47 ~
Brot (86/70/27)	110 ± 143	107 ± 77	91 ± 75	81 ± 98 [#]	110 ± 130	70 ± 108 ^{*,#}	0,50	0,48	n. s. (0,23)
Fleisch (82/70/28)	74 ± 182	90 ± 166	105 ± 226 [*]	63 ± 89	77 ± 197	59 ± 56	0,34	0,58	0,73 ~
Wurst (84/71/27)	35 ± 59	31 ± 42	21 ± 25	20 ± 25 [#]	27 ± 48 [#]	18 ± 25	0,59	0,78 ~	0,54
Fisch (84/73/29)	18 ± 55	10 ± 19	14 ± 41	17 ± 52	10 ± 18	8 ± 11	0,55	0,54	0,62
Obst (83/71/28)	378 ± 563	263 ± 337	190 ± 272	284 ± 397	162 ± 189 ^{##}	102 ± 83 ^{**,#}	0,58	0,62	0,38
Gemüse (80/67/24)	165 ± 330	105 ± 93	131 ± 148	143 ± 307	106 ± 89	78 ± 86	0,54	0,41	n. s. (0,36)
Süßigkeiten (86/70/28)	43 ± 80	63 ± 119	76 ± 164	35 ± 94	69 ± 148	45 ± 66	0,61	0,59	0,52
Knabberartikel (85/72/28)	23 ± 45	35 ± 111	16 ± 47	21 ± 37	42 ± 147	16 ± 46	0,57	0,67	0,53
Limonade (85/71/27)	277 ± 733	506 ± 871	548 ± 957 [*]	338 ± 805	320 ± 701	474 ± 937	0,56	0,71	0,58
Kaffee, schwarzer und grüner Tee (85/70/29)	57 ± 141	43 ± 75	122 ± 375	96 ± 255 [#]	41 ± 81	36 ± 76 [#]	0,61	0,72	0,49
BHEI (75/66/26)	63 ± 13	57 ± 12	55 ± 16 [*]	59 ± 14 [#]	58 ± 12	54 ± 11	0,44	0,55	0,49

* = p < 0,05 (H-Test nach Kruskal-Wallis)

= p < 0,05 (Wilcoxon-Test)

Alle Korrelationen p < 0,01, außer Werte in Kursiv (p = 0,05)

~ = p < 0,05 (Fisher-Z-Transformation)

A 4-20 Reproduzierbarkeit der körperlichen Aktivität nach Geschlecht

(In-)Aktivitäten (Anzahl Jungen/Mädchen)	Mittlere Dauer [min/d] der 1. Befragung		Mittlere Dauer [min/d] der 2. Befragung		Korrelationskoeffizient r nach Spearman	
	Jungen	Mädchen	Jungen	Mädchen	Jungen	Mädchen
Schlafen (88/83)	518 ± 73	527 ± 97	513 ± 76	526 ± 88	0,61	0,82 ~
Medienkonsum (88/83)	119 ± 76	103 ± 94 *	119 ± 64	109 ± 104 **	0,47	0,73 ~
Hausaufgaben (88/83)	38 ± 39	34 ± 26	31 ± 21	33 ± 22	0,68	0,52
Haus- und Gartenarbeit (88/83)	16 ± 36	16 ± 25	12 ± 24	15 ± 16 **	0,65	0,43 ~
Gehen (88/83)	24 ± 28	41 ± 67 *	28 ± 33	34 ± 30 *	0,35	0,73 ~
Fahrrad fahren (88/83)	24 ± 30	15 ± 18	31 ± 38	17 ± 17 **	0,59	0,52
Draußen spielen (88/83)	39 ± 41	19 ± 20 **	36 ± 32	24 ± 27 **	0,38	0,56
Sport, leicht (88/83)	7 ± 16	7 ± 12	6 ± 14	7 ± 10 *	0,35	0,37
Sport, mittel (88/83)	18 ± 27	21 ± 22 *	15 ± 24	26 ± 28 ***,~#	0,53	0,74 ~
Sport, schwer (88/83)	34 ± 39	19 ± 20 **	37 ± 35	21 ± 25 **	0,65	0,81 ~
Sport, gesamt (88/83)	59 ± 54	48 ± 35	58 ± 48	54 ± 39 #	0,66	0,81 ~
Restzeit (88/83)	345 ± 158	380 ± 137	353 ± 142	371 ± 139	0,50	0,65

* = p < 0,05, ** = p < 0,01, *** = p < 0,001 (U-Test nach Mann-Whitney)

= p < 0,05 (Wilcoxon-Test)

Alle Korrelationen p < 0,01

~ = p < 0,05, ~ = p < 0,01, ~ ~ p < 0,001 (Fisher-Z-Transformation)

A 4-21 Reproduzierbarkeit der körperlichen Aktivität nach Altersgruppen

(In-)Aktivitäten (Anzahl in Altersgruppen)	Mittlere Dauer [min/d] der 1. Befragung			Mittlere Dauer [min/d] der 2. Befragung			Korrelationskoeffizient r nach Spearman		
	10-12 Jahre	13-14 Jahre	15-17 Jahre	10-12 Jahre	13-14 Jahre	15-17 Jahre	10-12 Jahre	13-14 Jahre	15-17 Jahre
Schlafen (81/65/25)	551 ± 78	508 ± 77	464 ± 94 ***	548 ± 76	501 ± 77	474 ± 82 ***	0,66	0,67	0,81
Medienkonsum (81/65/25)	81 ± 66	123 ± 74	177 ± 118 ***	85 ± 57	129 ± 81	170 ± 129 **	0,69	0,51	0,52
Hausaufgaben (81/65/25)	41 ± 42	35 ± 24	28 ± 19	34 ± 24	30 ± 19	29 ± 19	0,67	0,61	n. s. (0,28)
Haus- und Gartenarbeit (81/65/25)	14 ± 24	15 ± 27	25 ± 53	11 ± 14	16 ± 27	19 ± 23	0,47	0,65	0,63
Gehen (81/65/25)	23 ± 20	31 ± 31	66 ± 114 *	27 ± 26	33 ± 34	42 ± 39	0,44	0,68	0,38 ~
Fahrrad fahren (81/65/25)	19 ± 24	22 ± 26	18 ± 25	23 ± 25	28 ± 38	21 ± 28	0,59	0,65	n. s. (0,38)
Draußen spielen (81/65/25)	35 ± 37	27 ± 33	14 ± 20 *	36 ± 33	26 ± 27	20 ± 23 *	0,52	0,40	n. s. (0,35)
Sport, leicht (81/65/25)	7 ± 15	6 ± 12	10 ± 17	7 ± 12	4 ± 9	12 ± 19	0,38	0,47	n. s. (0,21)
Sport, mittel (81/65/25)	21 ± 27	16 ± 20	25 ± 26	20 ± 29	19 ± 25	21 ± 21	0,62	0,72	0,50
Sport, schwer (81/65/25)	26 ± 27	29 ± 40	22 ± 22	30 ± 31	31 ± 35	21 ± 23	0,76	0,80	0,59
Sport, gesamt (81/65/25)	55 ± 46	51 ± 48	57 ± 42	58 ± 44	55 ± 45	53 ± 40	0,65	0,84	0,63 ~~
Restzeit (81/65/25)	364 ± 149	371 ± 142	333 ± 165	361 ± 133	367 ± 146	354 ± 157	0,69	0,52	n. s. (0,26)

* = p < 0,05 (H-Test nach Kruskal-Wallis)

Wilcoxon-Test: n. s.

Alle Korrelationen p < 0,01, außer Werte in Kursiv (p = 0,05)

~ = p < 0,05, ~~ p < 0,01 (Fisher-Z-Transformation)

A 4-22 Reproduzierbarkeit des Pubertätsstatus nach Geschlecht

Pubertätsstatus (Anzahl Jungen/Mädchen)	1. Befragung (MW ± SD)		2. Befragung (MW ± SD)		Korrelationskoeffizient r nach Spearman	
	Jungen	Mädchen	Jungen	Mädchen	Jungen	Mädchen
PDS (92/78)	2,2 ± 0,6	2,5 ± 0,8 **	2,2 ± 0,7	2,5 ± 0,8 **	0,82	0,80
PCS (92/78)	6,3 ± 2,3	7,6 ± 2,6 ***	6,3 ± 2,4	8,6 ± 2,6 ***	0,80	0,72

** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$ (U-Test nach Mann-Whitney)

Wilcoxon-Test: n. s.

Alle Korrelationen $p < 0,001$

Fisher-Z-Transformation: n. s.

A 4-23 Reproduzierbarkeit des Pubertätsstatus nach Altersgruppen

Pubertätsstatus (Anzahl in Altersgruppen)	1. Befragung (MW ± SD)			2. Befragung (MW ± SD)			Korrelationskoeffizient nach Spearman		
	10-12 Jahre	13-14 Jahre	15-17 Jahre	10-12 Jahre	13-14 Jahre	15-17 Jahre	10-12 Jahre	13-14 Jahre	15-17 Jahre
PDS (66/62/28)	2,0 ± 0,6	2,6 ± 0,6	2,7 ± 0,6 ***	2,0 ± 0,7	2,6 ± 0,6	2,9 ± 0,7 ***	0,77	0,76	0,63
PCS (66/62/28)	5,6 ± 2,2	7,8 ± 2,3	8,7 ± 1,8 ***	5,7 ± 2,4	8,0 ± 2,3	8,7 ± 2,6 ***	0,83	0,77	0,54 ~

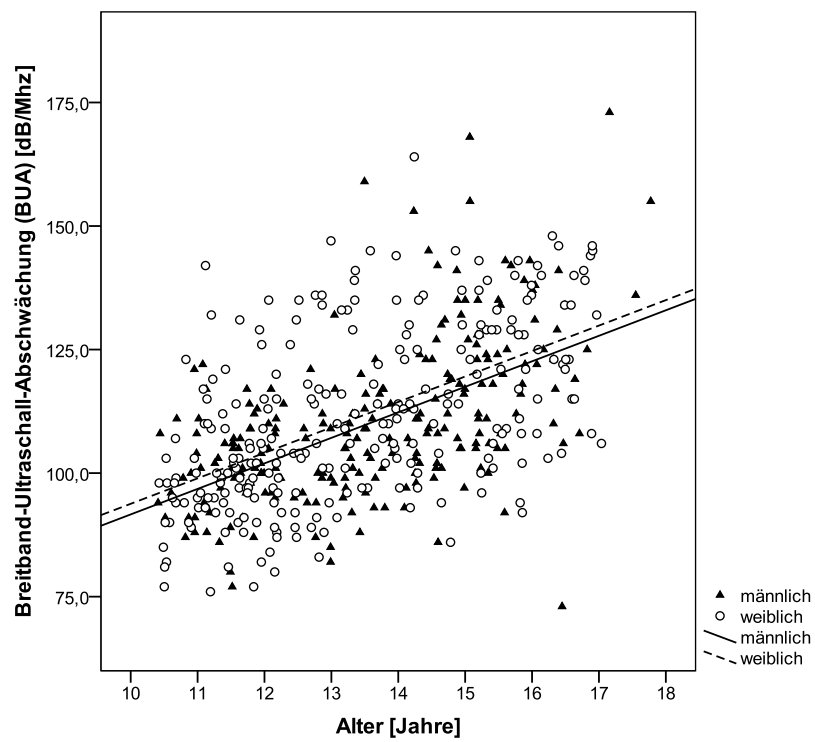
*** = $p < 0,001$ (H-Test nach Kruskal-Wallis)

Wilcoxon-Test: n. s.

Alle Korrelationen $p < 0,001$

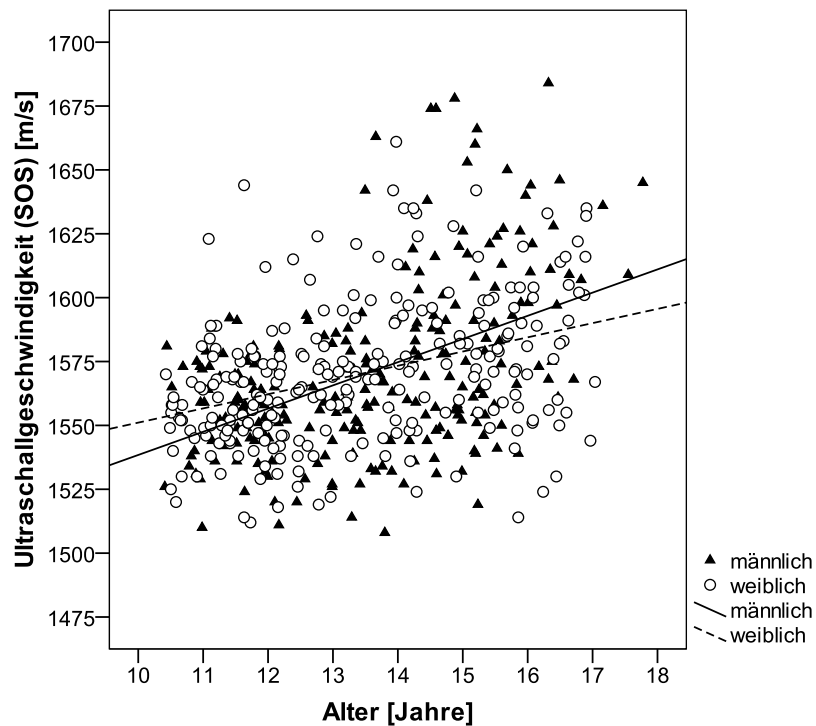
~ = $p < 0,05$ (Fisher-Z-Transformation)

A 4-24 Zusammenhang zwischen BUA und Alter



(Ermittelte Werte und Regressionsgeraden)

A 4-25 Zusammenhang zwischen SOS und Alter



(ermittelte Werte und Regressionsgeraden)

A 4-26 Steifigkeitsindex nach Migrationshintergrund

		Migrationshintergrund (Anzahl Schüler/Schülerinnen)	
		Vorhanden (38/39)	Nicht vorhanden (188/206)
SI	Schüler	92 ± 18	94 ± 19
	Schülerinnen	97 ± 19	93 ± 18

Angegebene Werte: MW ± SD
 U-Test nach Mann-Whitney: n. s.

A 4-27 Steifigkeitsindex differenziert nach Rauchstatus

		Rauchstatus (Anzahl Schüler/Schülerinnen)	
		Nichtraucher (219/228)	Raucher (13/22)
SI	Schüler	92 ± 18	114 ± 18 ***
	Schülerinnen	93 ± 18	109 ± 15 ***

Angegebene Werte: MW ± SD
 *** = $p < 0,001$ (U-Test nach Mann-Whitney)

A 4-28 Alter differenziert nach Rauchstatus

		Rauchstatus (Anzahl Schüler/Schülerinnen)	
		Nichtraucher (219/228)	Raucher (13/22)
Alter [J]	Schüler	13,2 ± 1,7	15,7 ± 0,9 ***
	Schülerinnen	12,8 ± 1,8	15,6 ± 1,0 ***

Angegebene Werte: MW ± SD

*** = p < 0,001 (U-Test nach Mann-Whitney)

A 4-29 Alter der Schülerinnen differenziert nach Einnahme von Kontrazeptiva

		Einnahme Kontrazeptiva (Anzahl Schülerinnen)	
		Nein (233)	Ja (16)
Alter [J]	Schülerinnen	12,9 ± 1,8	15,7 ± 0,8 ***

Angegebene Werte: MW ± SD

* U-Test nach Mann-Whitney zwischen der Einnahme bzw. keiner Einnahme von Kontrazeptiva

A 4-30 Steifigkeitsindex nach Vitamin D-Einnahme im ersten Lebensjahr

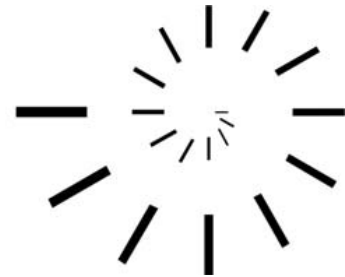
		Vitamin D-Einnahme im ersten Lebensjahr (Anzahl Schüler/Schülerinnen)			
		Nie (30/35)	Selten (12/9)	Oft (23/15)	Regelmäßig (93/104)
SI	Schüler	91 ± 19	96 ± 24	90 ± 17	88 ± 14
	Schülerinnen	94 ± 20	91 ± 21	95 ± 16	91 ± 18

Angegebene Werte: MW ± SD

Kruskal-Wallis-Test: n. s.

A 5-1 Auszug aus dem SchülerInnen-Fragebogen

Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd
University of Education



SchülerInnen-Fragebogen

Knochengesundheit und Lebensstil von Gmünder SchülerInnen

Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd
Institut für Gesundheitswissenschaften
Abteilung Ernährung, Konsum und Mode
Prof. Dr. Petra Lührmann
M. Sc. Antje Schweter

Code: _ _ _ _ _

Beispiel

1. erster Buchstabe des Vornamens deines Vaters
2. erster Buchstabe des Vornamens deiner Mutter
3. dein Geburtsmonat als zweistellige Zahl
4. Anzahl deiner Geschwister als zweistellige Zahl
5. letzter Buchstabe deines Nachnamens

Vorname Vater: **Ralf**
Vorname Mutter: **Erika**
eigener Geburtsmonat: **03**
Anzahl der Geschwister: **01**
eigener Nachname: Schmidt

Code: R E 03 01 T

Alle Angaben werden vertraulich behandelt!

Persönliche Angaben

1. Welches Geschlecht hast du?

☐ Männlich ☐ Weiblich

2. Wann bist du geboren?

Monat/Jahr _____ / _____

3. Auf welche Schule gehst du?

- ☐ Grundschule
☐ Hauptschule
☐ Realschule
☐ Gymnasium

4. In welche Klasse gehst du?

_____ Klasse

5. In welchem Land bist du geboren?

- ☐ In Deutschland
☐ In einem anderen Land, welches _____

6. Seit wann lebst Du in Deutschland?

- ☐ Seit meiner Geburt
☐ Seit _____ (Jahreszahl)

10. Rauchst du zurzeit?

- ☐ Ja, ich rauche.
☐ Ich rauche nur bei besonderen Gelegenheiten.
☐ Ich habe geraucht, rauche aber nicht mehr.
☐ Nein, ich habe nie geraucht.

Angaben zur Aktivität

13. Wie lange hältst du dich normalerweise täglich im Freien auf?

Im Sommer

In der Woche: _____ Stunden pro Tag
Am Wochenende: _____ Stunden pro Tag

Im Winter

In der Woche: _____ Stunden pro Tag
Am Wochenende: _____ Stunden pro Tag

14. Wie viele Stunden schläfst du zurzeit täglich?

Tagsüber: _____ Stunden

Nachts: _____ Stunden

18. Wie lange beschäftigst du dich zurzeit wöchentlich mit folgenden Dingen?

Aktivität	Stunden pro Woche
Fernsehen / Video / DVD	_____
Spielkonsole	_____
Computer / Internet	_____
Musik hören	_____
Handy	_____
Hausaufgaben	_____

19. Wie viele Stunden verbringst du zurzeit wöchentlich mit folgenden Aktivitäten?

Aktivität	Stunden pro Woche
Haus und Gartenarbeit	_____
Gehen (Spazieren gehen, zur Schule gehen, Shoppen/Bummeln usw.)	_____
Fahrrad fahren (zur Schule, zum Einkaufen usw.)	_____
Spielen im Freien	_____
Sport	
Leichte sportliche Aktivitäten (Gymnastik, Yoga usw.)	_____
Mittlere sportliche Aktivitäten (Tischtennis, Inline-Skaten, Schwimmen, Reiten, Tennis, Tanzen usw.)	_____
Schwere sportliche Aktivitäten (Fußball, Handball, Volleyball, Basketball, Turnen, Joggen)	_____
Sonstige besondere Aktivitäten, z.B. _____	_____

Angaben zur Ernährung in den letzten Wochen

Bitte kreuze jeweils nur eine Antwort an.

20. Wie oft hast du in den letzten Wochen Milch (einschließlich Kakao, Milch für Müsli) / Joghurt / Quark / Buttermilch getrunken bzw. gegessen?

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel trinkst bzw. isst du davon meistens? (1 Glas sind 200 ml)

- ☐ ¼ Glas / Becher oder weniger
- ☐ ½ Glas / Becher
- ☐ 1 Glas / Becher
- ☐ 2 Gläser / Becher
- ☐ 3 Gläser / Becher oder mehr

21. Wie oft hast du in den letzten Wochen Käse (Weich-, Schnitt- oder Hartkäse) gegessen?

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel isst du davon meistens?

- ☐ ¼ Scheibe oder ¼ Portion oder weniger
- ☐ ½ Scheibe oder ½ Portion
- ☐ 1 Scheibe oder 1 Portion
- ☐ 2 Scheiben oder 2 Portionen
- ☐ 3 Scheiben oder 3 Portionen oder mehr

22. Wie oft hast du in den letzten Wochen Frischkäse gegessen?

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel isst du davon meistens?

- ☐ ½ Esslöffel oder weniger
- ☐ 1 Esslöffel (gestrichen)
- ☐ 2 Esslöffel (gestrichen)
- ☐ 3 Esslöffel (gestrichen)
- ☐ 4 Esslöffel (gestrichen) oder mehr

23. Wie oft hast du in den letzten Wochen Limonaden (Cola / Limonade / Brause / Energiedrinks / Eistee) **getrunken?**

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel trinkst du davon meistens? (1 Glas sind 200 ml)

- ☐ ¼ Glas oder weniger
- ☐ ½ Glas
- ☐ 1 Glas
- ☐ 2 Gläser
- ☐ 3 Gläser oder mehr

24. Wie oft hast du in den letzten Wochen Kaffee, schwarzen oder grünen Tee getrunken?

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel trinkst du davon meistens? (1 Tasse sind 150 ml)

- ☐ ¼ Tasse oder weniger
- ☐ ½ Tasse
- ☐ 1 Tasse
- ☐ 2 Tassen
- ☐ 3 Tassen oder mehr

25. Wie oft hast du in den letzten Wochen Fruchtsaft / -schorle / -nektar getrunken?

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel trinkst du davon meistens? (1 Glas sind 200 ml)

- ☐ ¼ Glas oder weniger
- ☐ ½ Glas
- ☐ 1 Glas
- ☐ 2 Gläser
- ☐ 3 Gläser oder mehr

26. Wie oft hast du in den letzten Wochen Mineral- / Leitungswasser getrunken?

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel trinkst du davon meistens? (1 Glas sind 200 ml)

- ☐ ¼ Glas oder weniger
- ☐ ½ Glas
- ☐ 1 Glas
- ☐ 2 Gläser
- ☐ 3 Gläser oder mehr

27. Wie oft hast du in den letzten Wochen Brot oder Brötchen gegessen?

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel isst du davon meistens?

- ☐ ¼ Scheibe oder ¼ Brötchen oder weniger
- ☐ ½ Scheibe oder ½ Brötchen
- ☐ 1 Scheibe oder 1 Brötchen
- ☐ 2 Scheiben oder 2 Brötchen
- ☐ 3 Scheiben oder 3 Brötchen oder mehr

28. Wie oft hast du in den letzten Wochen Eier gegessen?

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel isst du davon meistens?

- ☐ ¼ Ei oder weniger
- ☐ ½ Ei
- ☐ 1 Ei
- ☐ 2 Eier
- ☐ 3 Eier oder mehr

29. Wie oft hast du in den letzten Wochen Fleisch gegessen (ohne Wurst)?

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel isst du davon meistens? (1 Portion ist etwa eine Hand voll)

- ☐ 1/8 Portion bzw. 1/8 Hand voll oder weniger
- ☐ ¼ Portion bzw. ¼ Hand voll
- ☐ ½ Portion bzw. ½ Hand voll
- ☐ 1 Portion bzw. 1 Hand voll
- ☐ 2 Portionen bzw. 2 Hände voll oder mehr

30. Wie oft hast du in den letzten Wochen Wurst / Schinken gegessen?

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel isst du davon meistens?

- ☐ $\frac{1}{4}$ Scheibe oder weniger
- ☐ $\frac{1}{2}$ Scheibe
- ☐ 1 Scheibe
- ☐ 2 Scheiben
- ☐ 3 Scheiben oder mehr

31. Wie oft hast du in den letzten Wochen Fisch gegessen?

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel isst du davon meistens? (1 Portion ist eine Hand voll)

- ☐ $\frac{1}{3}$ Portion bzw. $\frac{1}{3}$ Hand voll oder weniger
- ☐ $\frac{1}{2}$ Portion bzw. $\frac{1}{2}$ Hand voll
- ☐ 1 Portion bzw. 1 Hand voll
- ☐ 2 Portionen bzw. 2 Hände voll
- ☐ 3 Portionen bzw. 3 Hände voll oder mehr

32. Wie oft hast du in den letzten Wochen Obst (aus frischem / gekochtem / tiefgekühltem / Konservenobst zubereitet) gegessen?

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel isst du davon meistens? (1 Portion ist eine Hand voll)

- ☐ ¼ Portion bzw. ¼ Hand voll oder weniger
- ☐ ½ Portion bzw. ½ Hand voll
- ☐ 1 Portion bzw. Hand voll
- ☐ 2 Portionen bzw. 2 Hände voll
- ☐ 3 Portionen bzw. 3 Hände voll oder mehr

33. Wie oft hast du Gemüse (aus frischem / tiefgekühltem / Konservengemüse zubereitet) / Blattsalat / Rohkost / rohes Gemüse (z. B. Tomaten, Paprika, Gurke, Möhren) gegessen?

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel isst du davon meistens? (1 Portion ist eine Hand voll)

- ☐ ¼ Portion bzw. ¼ Hand voll oder weniger
- ☐ ½ Portion bzw. ½ Hand voll
- ☐ 1 Portion bzw. 1 Hand voll
- ☐ 2 Portionen bzw. 2 Hände voll
- ☐ 3 Portionen bzw. 3 Hände voll oder mehr

34. Wie oft hast du in den letzten Wochen Süßigkeiten (z. B. Schokolade, Schokoriegel, Kuchen, Gebäck, Kekse, Bonbons, Fruchtgummi) **gegessen?**

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel isst du davon meistens? (1 Portion ist eine Hand voll)

- ☐ ¼ Portion bzw. ¼ Hand voll oder weniger
- ☐ ½ Portion bzw. ½ Hand voll
- ☐ 1 Portion bzw. 1 Hand voll
- ☐ 2 Portionen bzw. 2 Hände voll
- ☐ 3 Portionen bzw. 3 Hände voll oder mehr

35. Wie oft hast du in den letzten Wochen Knabberartikel (Chips, Salzstangen, Cracker) **gegessen?**

- ☐ Nie
- ☐ 1 mal im Monat
- ☐ 2-3 mal im Monat
- ☐ 1-2 mal pro Woche
- ☐ 3-4 mal pro Woche
- ☐ 5-6 mal pro Woche
- ☐ 1 mal am Tag
- ☐ 2-3 mal am Tag
- ☐ 4-5 mal am Tag
- ☐ öfter als 5 mal am Tag

Wenn ja, wie viel isst du davon meistens? (1 Portion ist eine Hand voll)

- ☐ ¼ Portion bzw. ¼ Hand voll oder weniger
- ☐ ½ Portion bzw. ½ Hand voll
- ☐ 1 Portion bzw. 1 Hand voll
- ☐ 2 Portionen bzw. 2 Hände voll
- ☐ 3 Portionen bzw. 3 Hände voll oder mehr

Die nächsten Fragen beziehen sich auf Veränderungen, die in deinem Körper vorgehen. Diese Veränderungen finden bei jedem Jugendlichen in einem unterschiedlichen Alter statt.

70. Bist du der Meinung, dein Größenwachstum...

- ☐ ...hat noch nicht begonnen.
- ☐ ...hat kaum begonnen
- ☐ ...hat auf jeden Fall schon angefangen.
- ☐ ...scheint abgeschlossen
- ☐ weiß nicht

71. Vielleicht hast du bemerkt, dass an bestimmten Stellen deines Körpers nun auf einmal Haare wachsen (zum Beispiel die Haare unter deinen Armen). Wie wächst diese Körperbehaarung?

- ☐ ...hat noch nicht begonnen.
- ☐ ...hat kaum begonnen
- ☐ ...hat auf jeden Fall schon angefangen.
- ☐ ...scheint abgeschlossen
- ☐ weiß nicht

72. Hast du Hautveränderungen, wie zum Beispiel Pickel, festgestellt?

- ☐ ...hat noch nicht begonnen.
- ☐ ...hat kaum begonnen
- ☐ ...hat auf jeden Fall schon angefangen.
- ☐ ...scheint abgeschlossen
- ☐ weiß nicht

Für Mädchen

73. Hast du das Gefühl, dass deine Brüste schon begonnen haben zu wachsen?

- ☐ ...hat noch nicht begonnen.
- ☐ ...hat kaum begonnen
- ☐ ...hat auf jeden Fall schon angefangen.
- ☐ ...scheint abgeschlossen
- ☐ weiß nicht

74. Hast du schon deine erste Periode (Menstruation, Tage, monatliche Blutung) bekommen?

- ☐ Nein ☐ Ja

Wenn ja, wie alt warst du bei deiner 1. Regelblutung?

Für Jungen

75. Wurde deine Stimme tiefer?

- ☐ ...hat noch nicht begonnen.
- ☐ ...hat kaum begonnen
- ☐ ...hat auf jeden Fall schon angefangen.
- ☐ ...scheint abgeschlossen
- ☐ weiß nicht

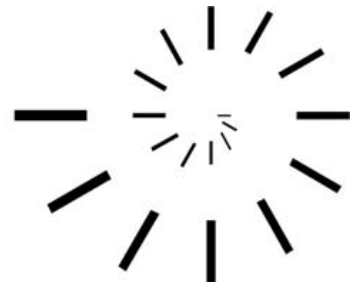
76. Hast du Bartwuchs festgestellt?

- ☐ ...hat noch nicht begonnen.
- ☐ ...hat kaum begonnen
- ☐ ...hat auf jeden Fall schon angefangen.
- ☐ ...scheint abgeschlossen
- ☐ weiß nicht

**Herzlichen
Dank!**

A 5-2 Auszug aus dem Eltern-Fragebogen

Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd
University of Education



Eltern-Fragebogen

Knochengesundheit und Lebensstil von Gmünder SchülerInnen

Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd
Institut für Gesundheitswissenschaften
Abteilung Ernährung, Konsum und Mode
Prof. Dr. Petra Lührmann
M. Sc. Antje Schweter

Alle Angaben werden vertraulich behandelt!

1. In welchem Land sind Sie geboren? (Bitte für beide Elternteile angeben!)

Mutter

☐ in Deutschland
☐ in einem anderen Land,
welches _____

Vater

☐ in Deutschland
☐ in einem anderen Land,
welches _____

2. Seit wann leben Sie in Deutschland? (Bitte für beide Elternteile angeben!)

Mutter

☐ seit meiner Geburt
☐ seit _____ (Jahreszahl)

Vater

☐ seit meiner Geburt
☐ seit _____ (Jahreszahl)

3. Welchen Schulabschluss haben Sie? (Bitte für beide Elternteile angeben!)

	Mutter	Vater
Keinen Schulabschluss	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hauptschulabschluss/Volksschulabschluss/Ilkoku	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Realschulabschluss/Ortaokul	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Abschluss Polytechnische Oberschule	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Abitur/Lise	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hochschulabschluss/Üniversite	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges	_____	_____

4. Sind Sie zurzeit berufstätig? (Bitte für beide Elternteile angeben!)

	Mutter	Vater
Hausfrau / Hausmann	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
arbeitslos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Teilzeit berufstätig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
voll berufstätig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10. Hat Ihr Kind im ersten Lebensjahr ein Vitamin D-Supplement (Tablette) erhalten?

- ☐ Nein, nie.
- ☐ Ja, selten.
- ☐ Ja, oft.
- ☐ Ja, regelmäßig.

11. Leidet Ihr Kind an einer Erkrankung?

- ☐ Nein
- ☐ Ja

Wenn ja, an welcher und seit wann?

12. Hat Ihr Kind schon einmal einen Knochenbruch erlitten?

- ☐ Nein
- ☐ Ja

Wenn ja, wann und welcher Knochen?

13. Nimmt Ihr Kind regelmäßig Medikamente ein?

- ☐ Nein
- ☐ Ja

Wenn ja, welche und warum?

**Herzlichen
Dank!**

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die durch ihre Mitarbeit und ihre Unterstützung zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt:

Meiner Doktormutter Prof. Dr. Petra Lührmann für die Betreuung meiner Arbeit, die konstruktiven Ratschläge und die Unterstützung während der gesamten Promotionsphase.

Herrn Prof. Dr. med. Manfred James Müller, Universität Kiel, für die Übernahme des Zweitgutachtens und den damit verbundenen Mühen.

Den lieben Kolleginnen der Abteilung Ernährung, Konsum und Mode, die mich immer motiviert und mich mit ihren Leckereien verwöhnt haben.

Den Studierenden des Studiengangs Gesundheitsförderung und des Lehramts für ihre engagierte Mitarbeit in der Studie.

Den Schwäbisch Gmünder Schülerinnen und Schülern mit ihren Eltern, den beteiligten Schulleitungen und Lehrerinnen und Lehrer, ohne die diese Studie nicht möglich gewesen wäre.

Den Kolleginnen und Kollegen am BfR, besonders aus der FG 34 für ihre Motivation und Unterstützung, die Dissertation fertig schreiben zu können, besonders Oliver und Christine für alle Fragen der Statistik

Meinen Freunden und Wegbegleitern für aufbauende Gespräche, Rückhalt und ihre allzeit offenen Ohren für meine Anliegen, besonders Antje, Kerstin und Marion für die Durchsicht des Manuskripts.

Meiner Familie, die an mich geglaubt hat und immer für mich da ist, und ganz besonders Timm für die schönen Dinge im Leben.

Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass die Dissertation mit dem Titel „Einfluss verschiedener Lebensstilfaktoren auf die Knochenmasse von Kindern und Jugendlichen: Möglichkeiten der Gesundheitsförderung im Setting Schule“ selbständig angefertigt wurde, wörtliche wie inhaltliche Entlehnungen kenntlich gemacht sind und außer den in dieser Dissertation genannten keine weiteren Hilfsmittel Verwendung fanden.

Die Dissertation war weder im Ganzen noch in Teilen Gegenstand eines Promotionsverfahrens an einer anderen Hochschule.

Die Dissertation war weder im Ganzen noch in Teilen Gegenstand einer anderen akademischen Prüfung oder einer Staatsprüfung.

Ich versichere, dass die elektronische Version den auf Papier gedruckten Exemplaren entspricht.

Schwäbisch Gmünd, im November 2014

